

El azúcar y el ejercicio físico: su importancia en los deportistas

Ana B. Peinado, Miguel A. Rojo-Tirado y Pedro J. Benito

Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo. Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.

Resumen

El glucógeno muscular, principal almacén de glucosa en el organismo, y la glucemia sanguínea constituyen uno de los principales sustratos energéticos para la contracción muscular durante el ejercicio. El azúcar (sacarina) es un estupendo suplemento al suministrar tanto glucosa como fructosa. Por ello, es esencial que los deportistas cuiden su alimentación, para mantener y aumentar los depósitos de este combustible, ya que las reservas de glucógeno muscular constituyen un factor limitante de la capacidad para realizar ejercicio prolongado. Las dietas ricas en hidratos de carbono se han recomendado para el ejercicio de resistencia y ultra-resistencia debido a su relación con el aumento de las reservas musculares de glucógeno y la aparición tardía de la fatiga. Además de las dietas altas en carbohidratos, la ingesta de carbohidratos antes y durante el ejercicio, han demostrado ser beneficiosas debido al aumento de las concentraciones hepáticas de glucógeno y el mantenimiento de las concentraciones de glucosa en sangre. El efecto de la ingesta de carbohidratos sobre el rendimiento deportivo dependerá principalmente de las características del esfuerzo, del tipo y cantidad de carbohidratos ingeridos y del momento de la ingesta. La combinación de todos estos factores debe ser tenida en cuenta a la hora de analizar el rendimiento en las diferentes especialidades deportivas.

Nutr Hosp 2013; 28 (Supl. 4):48-56

Palabras clave: *Ingesta de carbohidratos. Deportes de resistencia. Deportes de fuerza. Rendimiento. Entrenamiento.*

Abreviaturas

AGL: Ácidos grasos libres en plasma
ATP: Adenosina trifosfato
FC: Frecuencia cardiaca
FC_{max}: Frecuencia cardiaca máxima
O₂: Oxígeno.
TG: Triglicéridos.

Correspondencia: Pedro J. Benito Peinado.
Departamento de Salud y Rendimiento Humano.
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte - INEF.
Universidad Politécnica de Madrid.
C/ Martín Fierro, 7.
28040 Madrid. España.
E-mail: pedroj.benito@upm.es

SUGAR AND EXERCISE: ITS IMPORTANCE IN ATHLETES

Abstract

Muscle glycogen, the predominant form of stored glucose in the body, and blood glucose are the main energy substrates for muscle contraction during exercise. Sucrose is an ideal substance for athletes to incorporate because it provides both glucose and fructose. Therefore, it is essential that athletes monitor their diet to maintain and increase muscle glycogen deposits, since they are a major limiting factor of prolonged exercise performance. Carbohydrate-rich diets are also recommended for endurance and ultra-endurance exercise, because they are associated with increased muscle glycogen stores, as well as delayed onset of fatigue. In addition, high carbohydrate diets and carbohydrate intake before and during exercise have shown to be beneficial due to increased concentrations of hepatic glycogen and maintenance of blood glucose. The effect of carbohydrate intake on athletic performance mainly depends on the characteristics of the exercise, the type and amount of carbohydrate ingested and the time of intake. A combination of these factors must be taken into account when analysing individual athletic performance.

Nutr Hosp 2013; 28 (Supl. 4):48-56

Key words: *Carbohydrate intake. Endurance sports. Strength sports. Performance. Training.*

VCO₂: Producción de dióxido de carbono.
VO₂: Consumo de oxígeno.
VO_{2max}: Consumo de oxígeno máximo.

Metabolismo energético de los hidratos de carbono y su importancia en los diferentes tipos de esfuerzo

El azúcar (sacarina) que tomamos en la dieta es una importante fuente de glucosa para el organismo, ya que es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa. Sin embargo, por extensión, bajo el término azúcar se incluye a todos los hidratos de carbono o carbohidratos. Entre los diferentes tipos de carbohidratos que consumimos podemos destacar los monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa), los disacáridos

(maltosa, sacarosa y lactosa) y los polímeros de glucosa (maltodextrina y almidón). Sus diferencias en osmolaridad y estructura repercutirán en la palatabilidad, digestión, absorción, liberación de hormonas y disponibilidad de la glucosa para ser oxidada en el músculo¹. Todas las rutas metabólicas de los hidratos de carbono se reducen a la degradación (rutas catabólicas) de la glucosa (glucólisis) o del glucógeno (glucogenolisis), o a la formación (rutas anabólicas) de glucosa (glucogénesis) o glucógeno (glucogenosíntesis). La glucosa es el único carbohidrato que circula por el organismo y cuya concentración puede medirse en sangre (glucemia). De manera que todos los carbohidratos que se ingieren en la dieta son transformados en glucosa.

El glucógeno muscular, principal almacén de glucosa en el organismo, y la glucosa sanguínea constituyen uno de los principales sustratos energéticos para la

contracción muscular durante el ejercicio, cuya importancia se incrementa de forma progresiva y conjuntamente con el aumento de la intensidad del ejercicio. Son los sustratos más importantes como fuente energética rápida para el organismo, ya que su oxidación produce 6,3 moles de ATP (Adenosina trifosfato) por mol de oxígeno (O₂) frente a los 5,6 moles obtenidos al oxidar las grasas. Uno de los factores que podría determinar la fatiga muscular sería la depleción de las reservas de carbohidratos.

En actividades aeróbicas de baja intensidad (~30% del consumo de oxígeno máximo [VO_{2max}]) la producción energética total proviene en un 10-15% de la oxidación de los carbohidratos. Con el aumento de la intensidad este porcentaje se incrementa, pudiendo llegar al 70-80% cuando el VO_{2max} se sitúa en ~85%, o incluso al 100% en actividades de máxima o supra máxima intensidad². Además de la intensidad del ejercicio, la utilización de éstos durante la realización del mismo está influenciada por diversos factores como la duración del mismo (fig. 1), el nivel de condición física, la dieta, el sexo, las condiciones ambientales, etc. Como la mayoría de los deportes se realizan a intensidades superiores al 60-70% del VO_{2max}, los carbohidratos provenientes del glucógeno muscular y la glucosa sanguínea son la principal fuente energética.

El papel que los carbohidratos desempeñan en el metabolismo energético durante el ejercicio, pone de manifiesto la importancia de analizar la adecuada ingesta de azúcar de cara al rendimiento deportivo. La disponibilidad de carbohidratos durante el ejercicio, así como una posterior recuperación de los depósitos de glucógeno muscular, juegan un papel primordial en el rendimiento de las diferentes especialidades deportivas. El músculo esquelético dispone de una elevada concentración de glucógeno, siendo el tejido que posee los mayores depósitos, ya que en el hígado (otro depósito de glucógeno) sólo se almacena la octava parte de la cantidad muscular. Por ejemplo, una persona de 70 kg con un porcentaje de masa muscular de un 45%, dispondrá de 315 g de glucógeno almacenado en los músculos, mientras que en el hígado tendrá alrededor de 80 g. El hígado posee la enzima glucosa-6-fosfatasa que permite desfosforilar la glucosa-6-fosfato y por lo tanto, suministrar glucosa al resto de órganos y tejidos. La función del hígado es vital durante el ejercicio para mantener la glucemia y el aporte de glucosa al cerebro. Por su parte, el músculo es capaz de utilizar de manera autosuficiente los depósitos de glucógeno. Por ello, es esencial que los deportistas cuiden su alimentación, para mantener y aumentar los depósitos de este combustible, ya que las reservas de glucógeno muscular constituyen un factor limitante de la capacidad para realizar ejercicio prolongado³.

Una persona puede almacenar alrededor de 1.500-2.000 kcal como glucosa sanguínea y glucógeno. En la sangre sólo disponemos de 50 kcal de glucosa para uso inmediato. El glucógeno hepático puede proporcionar alrededor de 250-300 kcal. El glucógeno muscular en

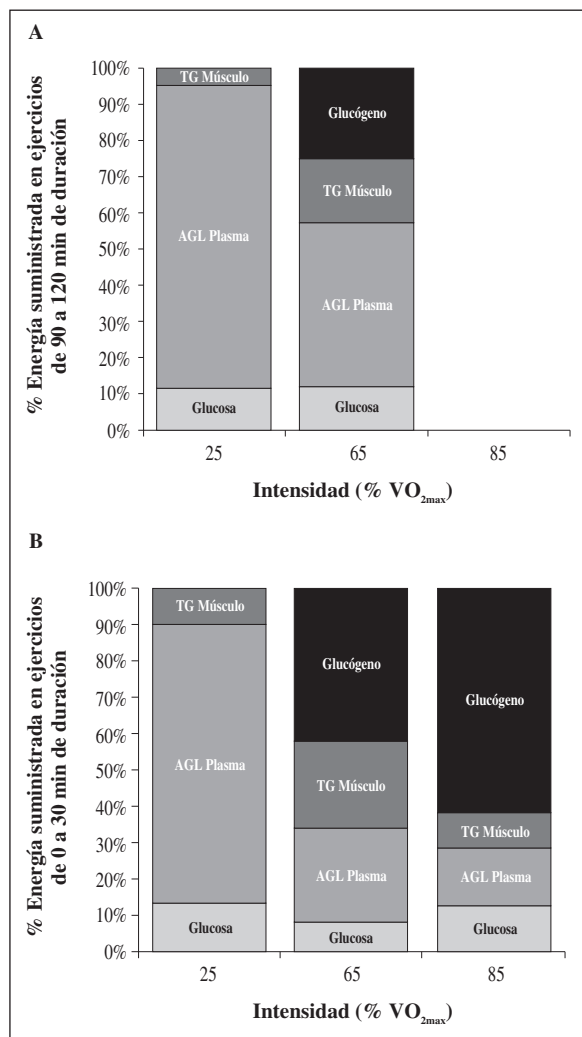


Fig. 1.—Efectos de la intensidad y duración del ejercicio en la utilización de los sustratos metabólicos. Porcentaje de energía suministrada por la glucosa, los ácidos grasos libres en plasma (AGL Plasma), el glucógeno y los triglicéridos del músculo (TG Músculo), durante ejercicios de 90 a 120 min (A) y de 0 a 30 min (B) a intensidades del 25, 65 y 85% del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}). (Adaptado de¹³).

corredores de larga distancia entrenados se cifra alrededor de 130 mmol·kg⁻¹, encontrándose en ellos valores superiores a los sujetos sedentarios o que practican otros deportes de menor duración. Debido a que los carbohidratos son limitantes del ejercicio, incluso en los casos en los que las grasas son utilizadas como principal fuente de combustión, la dieta del deportista debe ser rica en carbohidratos para hacer frente al elevado consumo y mantener repletas las reservas de glucógeno¹.

A continuación, analizaremos brevemente el papel del azúcar, concretamente de la glucosa y del glucógeno, en los diferentes tipos de esfuerzo: submáximos, máximos o supra máximos, e intermitentes.

Esfuerzos submáximos de larga duración

En este tipo de esfuerzos, cuanto mayor es la intensidad mayor es la utilización del glucógeno muscular y menor la obtención de energía de los lípidos. Sin embargo, cuanto mayor es la duración más se incrementa la utilización de los ácidos grasos como fuente de energía⁴ (fig. 1). El músculo, gracias a los depósitos de glucógeno, es metabólicamente independiente, aunque estos depósitos no son inagotables. Por ello, el tejido adiposo y el hígado deben suministrar combustible a la fibra muscular. Esta interrelación entre tejidos permite que no haya un agotamiento completo de las reservas de glucógeno, siendo la concentración de éste el principal limitante de la capacidad de realizar ejercicio prolongado. Además, cuando la energía se obtiene principalmente de las grasas, el rendimiento mecánico se reduce, por ello, es indispensable la coordinación entre músculo, hígado y tejido adiposo^{3,4}.

Esfuerzos máximos o supra máximos de corta duración

La elevada intensidad de este tipo de esfuerzos hace que no puedan desarrollarse durante mucho tiempo. Además, la vía metabólica aeróbica no es capaz de suministrar energía a la velocidad a la que es requerida, por ello, desde un punto de vista cuantitativo, el metabolismo anaeróbico es el más importante en este tipo de esfuerzos. El sistema del fosfágeno, la glucosa y el glucógeno constituyen las principales fuentes de energía. La contribución del glucógeno muscular en esfuerzos cortos de máxima intensidad podría ser la siguiente: 20% en los primeros 30 segundos, 55% de 60 a 90 segundos y 70% de 120 a 180 segundos³.

Esfuerzos intermitentes

Se denominan esfuerzos intermitentes a los que combinan periodos de esfuerzo con periodos de inactividad. Estos esfuerzos son muy habituales en el entrenamiento y en muchas actividades deportivas. El combustible

empleado en este tipo de esfuerzos depende de la intensidad, la duración del esfuerzo, la duración del descanso y del número de veces que se repite el esfuerzo, por lo tanto, las posibilidades son múltiples. Centrándonos en el glucógeno, las cuatro características anteriores determinarán el descenso de los depósitos de glucógeno, mientras que la restitución de los mismos (hepático y muscular) dependerá únicamente de la dieta.

Recomendaciones específicas de ingesta de azúcares en deportistas

La información relativa a este aspecto es extensa y numerosos trabajos han estudiado la eficacia de diferentes cantidades de ingesta de azúcares. Las tablas I y II resumen las directrices de la ingesta recomendada de carbohidratos en atletas.

Deportes de resistencia

Durante el ejercicio de resistencia, el glucógeno muscular disminuye gradualmente y, como ya hemos mencionado anteriormente, el rendimiento se deteriora. Un medio eficaz para mejorar la resistencia es aumentar el glucógeno almacenado en el músculo esquelético y en el hígado antes del comienzo del ejercicio⁵. La disponibilidad de los carbohidratos, como un sustrato para el músculo y el sistema nervioso central, se convierte en un factor limitante del rendimiento en ejercicios submáximos prolongados (> 90 min) e intermitentes de alta intensidad⁶.

Tradicionalmente, las dietas ricas en hidratos de carbono se han recomendado para el ejercicio de resistencia y ultra-resistencia, debido a la relación entre estas dietas, el aumento de las reservas musculares de glucógeno y la aparición tardía de la fatiga. Más recientemente, las dietas altas en carbohidratos y la ingesta de

Tabla I
Recomendaciones de ingesta de carbohidratos en atletas. Traducida y modificada de¹³

	<i>Recomendaciones de ingesta</i>
<i>Necesidades diarias.</i> Estas recomendaciones deben tenerse en cuenta considerando el gasto energético total individual, las necesidades específicas del entrenamiento y el rendimiento.	
Actividades ligeras o de baja intensidad	3-5 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹
Programa de ejercicio de intensidad moderada (~1 h·día ⁻¹)	5-7 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹
Programa de ejercicio de moderada a alta intensidad (1-3 h·día ⁻¹)	6-10 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹
Programa de ejercicio de elevada intensidad (4-5 h·día ⁻¹)	8-12 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹

Tabla II
Estrategias de recarga de carbohidratos. Traducida y modificada de¹³

		<i>Recomendaciones de ingesta (en gramos de carbohidratos)</i>
Estrategias orientadas a promover una elevada disponibilidad de carbohidratos que permitan un óptimo rendimiento en competición o entrenamientos importantes.		
Recarga carbohidratos	Preparación para eventos < 90 min de ejercicio	7-12 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹ (necesidades diarias)
Recarga carbohidratos	Preparación para eventos > 90 min de ejercicio	36-48 h de 10-12 g·kg ⁻¹ ·día ⁻¹
Recarga rápida	< 8 h de recuperación entre dos entrenamientos intensos	1-1,2 g·kg ⁻¹ ·h ⁻¹ durante las primeras 4 h, seguidas de necesidades diarias
Ingesta antes del ejercicio	Una hora antes del ejercicio	1-4 g·kg ⁻¹ consumidos 1-4 h antes del ejercicio
Ingesta durante el ejercicio	< 45 min	No necesaria
Ingesta durante ejercicio de alta intensidad	45-75 min	Pequeñas cantidades
Ingesta durante ejercicio de resistencia	1-2,5 h	30-60 g·h ⁻¹
Ingesta durante ejercicio de ultra resistencia	2,5-3 h	90 g·h ⁻¹

carbohidratos antes y durante el ejercicio, han demostrado ser beneficiosas debido al aumento de las concentraciones hepáticas de glucógeno y el mantenimiento de las concentraciones de glucosa en sangre⁷. Las necesidades diarias de carbohidratos para el entrenamiento y la recuperación se resumen en la tabla I. Para hacer frente a las necesidades específicas de hidratos de carbono de los deportistas es importante expresarlos con respecto al peso corporal. Varios artículos han sugerido que se requiere una ingesta de carbohidratos de 8 a 10 g·kg⁻¹·día⁻¹ para la recarga del glucógeno^{6,9}, precisándose una ingesta mayor (10-13 g·kg⁻¹·día⁻¹) en caso de deportistas cuyas disciplinas deportivas producen un mayor vaciamiento de los depósitos de glucógeno⁶. En las mujeres deportistas parece que la síntesis de glucógeno podría aumentar durante la fase lútea, por lo tanto, el ciclo menstrual es una consideración importante a la hora de recomendar la ingesta de carbohidratos en mujeres que practiquen deportes de resistencia^{6,7}.

Es fundamental para los deportistas reponer las reservas de glucógeno después del ejercicio, de cara a proporcionar la energía suficiente para la siguiente sesión de entrenamiento o competición. Para una rápida reposición de las reservas de glucógeno, una dieta con un alto contenido en carbohidratos puede ser eficaz por sí sola, pero existen diversas estrategias con las que aumentar la eficacia, como añadir proteínas. Las reservas de glucógeno pueden ser aumentadas 1,5 veces más de lo normal, por ejemplo, por el consumo de una dieta alta en carbohidratos durante los 3 días previos a la competición, después de haber seguido una dieta baja en carbohidratos durante los 3 días anteriores (en un periodo total de 6 días antes de la competición). Además, si tomamos ácido cítrico, el cual inhibe la glucólisis, simultáneamente con una dieta con alto contenido de carbohidratos, las reservas de glucógeno aumentan aún más debido a su efecto inhibitor

sobre la glucólisis⁵. En la tabla II se resumen las estrategias utilizadas por los atletas para aumentar o reponer los depósitos de glucógeno.

Deportes de fuerza

El entrenamiento de fuerza, como cualidad física básica, repercute de forma importante en casi todos los sistemas de regulación homeostática del organismo, y tiene, a su vez, importantes consecuencias metabólicas en cuanto al suministro energético. El músculo no diferencia las actividades deportivas, lo que discrimina es el número de unidades motrices que se reclutan y el tiempo que éstas están activas (% con respecto a la máxima contracción voluntaria), el resto son diferenciaciones culturales que no tienen implicaciones fisiológicas. Por ejemplo, correr una maratón no es más que una sucesión de pequeñas contracciones musculares muy frecuentes y de una intensidad moderada o baja y muy duradera, mientras que correr los cien metros lisos requiere una proporción muy elevada de las fibras musculares disponibles en un tiempo muy corto.

El entrenamiento de fuerza presenta una serie de peculiaridades que tienen una relación directa e importante con la selección y el uso de los distintos combustibles. Para actividades superiores a 120 segundos, el gasto energético total en el entrenamiento de la fuerza es inferior al de actividades de índole aeróbica debido a que se realiza a un ritmo intercalado. En este sentido, aunque en ejercicios aislados como el *press* de banca o la sentadilla, el gasto energético anaeróbico puede suponer más del 30% del total de la energía¹⁰, en el caso de los entrenamientos en circuito, este requerimiento no supone más allá del 10%, como puede observarse en la figura 2. Las necesidades de hidratos de carbono son

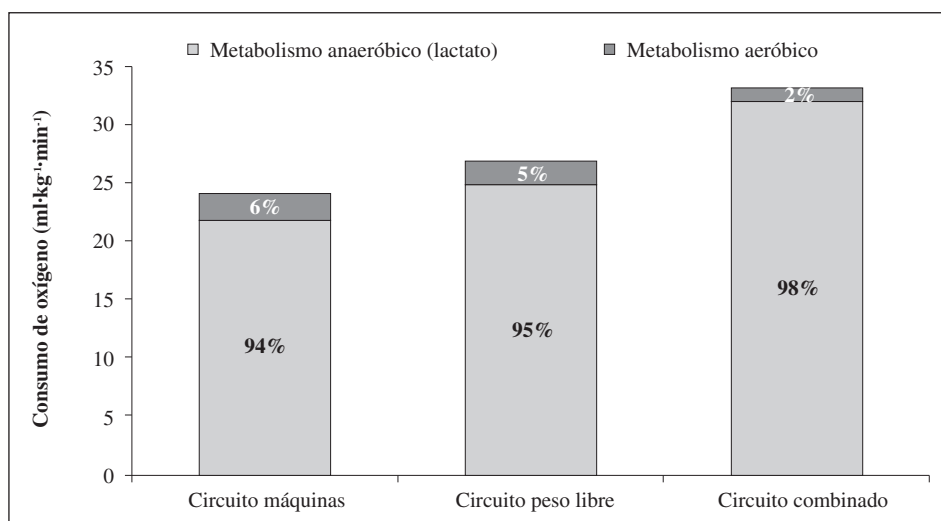


Fig. 2.—Proporción de energía aportada y consumo de oxígeno en tres formas de circuitos de pesas, con 8 ejercicios sin descanso al 65% de intensidad y 54 min de duración.

importantes, de hecho, cuando la intensidad del entrenamiento es alta las hipoglucemias pueden ser muy acusadas. Sin embargo, el gasto energético total no es elevado. En la figura 3, se puede observar que hacer ejercicio en un circuito de pesas no solicita más del 35% del VO_{2max} , mientras que la frecuencia cardíaca solicitada es superior al 90%.

Aunque existe un beneficio evidente para los deportes de resistencia cuando se utiliza una dieta rica en azúcares, en el entrenamiento de fuerza no está tan claro, ya que la pequeña cantidad de energía que suele solicitar este tipo de ejercicio es fácilmente aportada por nuestro sistema energético¹¹. Lo que sí puede ocurrir con cierta frecuencia, y fundamentalmente debido a una inadecuada progresión en las variables de entrenamiento (volumen e intensidad), es que, debido a la escasa cantidad de energía en forma de azúcares en la sangre, una demanda muy rápida de glucosa (entrenamiento de fuerza intenso) puede agotar estas pequeñas reservas y ello conllevar a que el hígado no sea capaz de aportar tan rápidamente glucosa al torrente sanguíneo, con lo que la probabilidad de hipoglucemia puede llegar a ser muy elevada.

Efectos de la ingesta de azúcares sobre el rendimiento deportivo

El efecto de la ingesta de carbohidratos sobre el rendimiento deportivo dependerá principalmente de las características del esfuerzo (intensidad, duración, etc.), del tipo y cantidad de carbohidratos ingeridos y del momento de la ingesta. La combinación de todos estos factores debe ser tenida en cuenta a la hora de analizar el rendimiento en las diferentes especialidades deportivas. En los siguientes puntos se explicarán los efectos de ingerir azúcares antes, durante y después del ejercicio, así como las principales características de las dietas bajas en hidratos de carbono.

En la ingesta de alimentos diaria de los deportistas, los hidratos de carbono deben aportar un 55-60% respecto del

total de calorías ingeridas. En las fases de mayor entrenamiento este porcentaje debe aumentarse hasta el 65-70%¹. El momento de ingesta será analizado a continuación.

Ingesta antes del ejercicio

Las recomendaciones generales de ingesta de carbohidratos antes del ejercicio establecen que la cena previa al día de competición debería ser rica en carbohidratos (250-350 g), que la comida previa (3-6 horas antes) debería incluir la ingesta de 200-350 g, y que, en los 60-30 min previos a la competición, deberían tomarse 35-50 g de glucosa, sacarosa o polímeros de glucosa. Los alimentos consumidos deben ser pobres en grasa, en fibra y en proteínas, bien tolerados, no muy voluminosos y con un índice glucémico alto o medio¹. Por otro lado, algunos estudios indican que la ingesta de glucosa 30 o 45 min antes del ejercicio causa fatiga muscular más rápido que cuando no se ingiere (debido a los cambios en las concentraciones de glucosa e insulina). Sin embargo, si la ingesta es de fructosa, las concentraciones en plasma de glucosa e insulina no cambian drásticamente antes del ejercicio¹².

El *American College of Sports Medicine* (ACSM) afirma que la cantidad de carbohidratos que permite mejorar el rendimiento varía entre 200 y 300 g para las comidas 3-4 horas antes del ejercicio, a razón de 30-60 g·h⁻¹ en intervalos de 15-20 min (principalmente en forma de glucosa), para ejercicios superiores a la hora de duración⁹. Además, la ingestión de 0,15-0,25 g de proteínas·kg⁻¹, 3-4 horas antes del ejercicio, con un ratio de 3-4:1 (glucosa: proteínas), puede estimular la síntesis de proteínas durante el ejercicio de resistencia, pero no se ha demostrado que aumente el rendimiento⁹. Genton et al. propone el consumo de 1-4 g·kg⁻¹ de 1 a 4 horas antes del ejercicio para incrementar la disponibilidad de carbohidratos en sesiones prolongadas de ejercicio, y de 0,5 a 1 g·kg⁻¹ en sesiones de ejercicio moderadas-intensas o intermitentes > 1 h³.

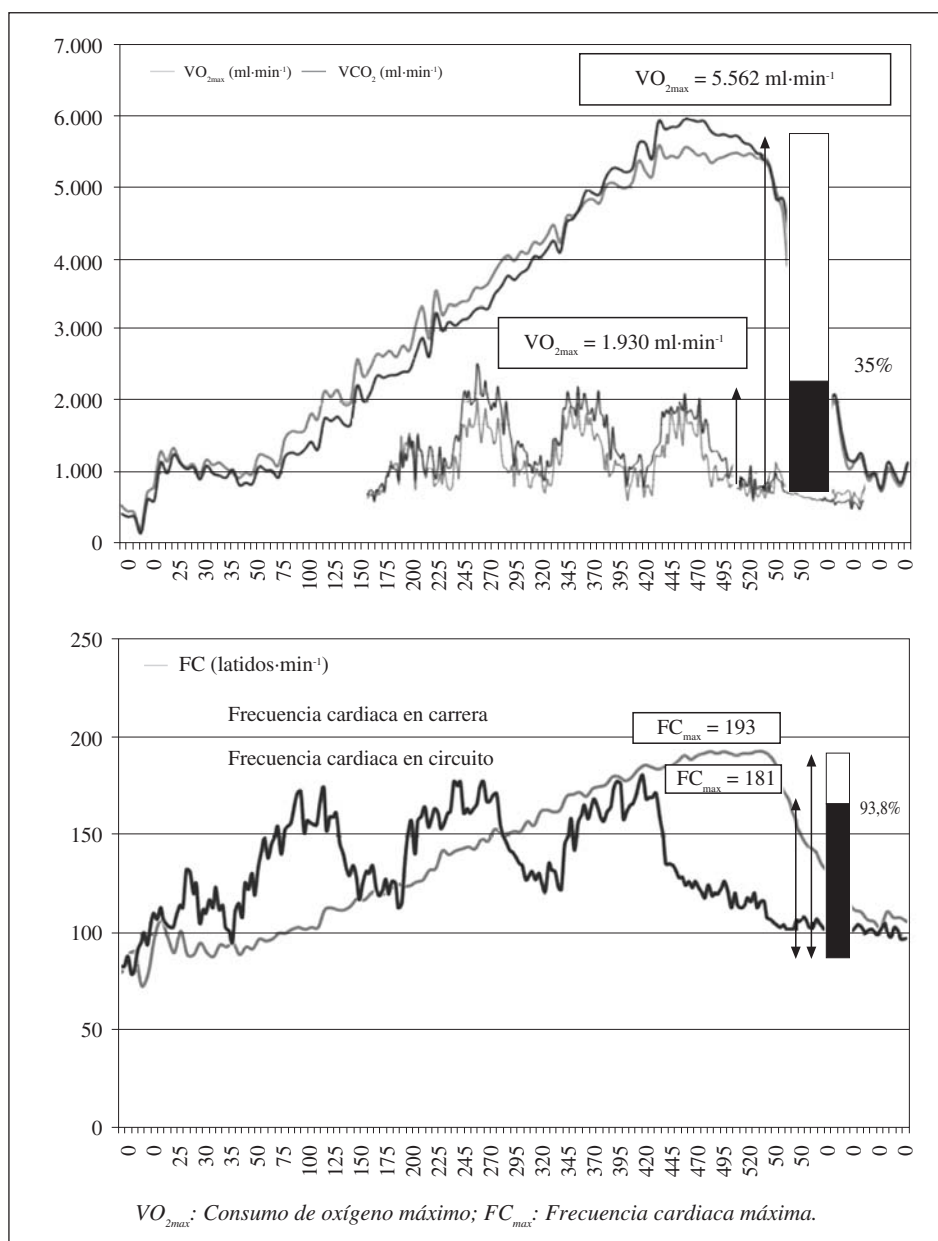


Fig. 3.—Respuesta del consumo de oxígeno (VO_2) y la frecuencia cardiaca (FC) durante un circuito de entrenamiento de fuerza, comparada con la respuesta en una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento (Adaptada de¹⁶).

Cuando se lleva a cabo un ejercicio prolongado, tal como una maratón, tomar carbohidratos inmediatamente antes o durante el ejercicio es un método eficaz para mejorar la resistencia. Bajo tales condiciones, es deseable que el deportista ingiera monosacáridos u oligosacáridos, porque éstos son rápidamente absorbidos y transportados a los tejidos periféricos para su utilización. Por otro lado, la ingesta de hidratos de carbono inhibe la degradación de las grasas, estimulando la secreción de insulina. Esto conduce a un deterioro de la producción de energía a través del metabolismo de los lípidos y acelera la glucólisis como vía de producción de energía. Como resultado, el consumo del glucógeno muscular se incrementará. Por lo tanto, es necesario ingerir hidratos de carbono que no inhiban el metabolismo de los lípidos. Se ha sugerido que los suplementos

que contienen fructosa causan menos estimulación de la secreción de insulina y es improbable que inhiban la lipólisis, en lugar de los carbohidratos comunes tales como la glucosa y la sacarosa. Además, la ingesta simultánea de ácido cítrico y arginina puede promover el consumo de energía a partir de los lípidos a través de la inhibición de la glucólisis, retrasando la depleción del glucógeno. Por lo tanto, la ingesta de ambos junto con hidratos de carbono poco estimulantes de la secreción de insulina antes o durante el ejercicio, puede ser una manera eficaz para mejorar el metabolismo energético y suministrar una fuente de energía óptima durante el ejercicio prolongado⁷⁻⁸.

Algunos estudios muestran una disminución de la utilización del glucógeno muscular cuando el carbohidrato se consume antes y durante el ejercicio. Otros han infor-

mado de la reducción de la síntesis de glucosa hepática, el mantenimiento de la normoglucemia y de altas tasas de oxidación de la glucosa en sangre en las últimas etapas del ejercicio, pero no de la reducción en la glucogenolisis. Sin embargo, los altos niveles de insulina circulante disminuyen la lipólisis y por lo tanto, se reduce la contribución de la grasa muscular al ejercicio. Por ello, la cantidad de hidratos de carbono proporcionada debe ser suficiente para cubrir las demandas de energía del ejercicio y la pérdida de energía proveniente de la oxidación de grasa^{7,8}.

Una disminución transitoria de los niveles de glucosa en sangre es, a menudo, observada cuando el carbohidrato se ingiere antes del ejercicio. Esto se debe, probablemente, al aumento de la captación de glucosa en plasma, como resultado de mayores niveles de insulina y la supresión de la síntesis de glucosa hepática. Este desequilibrio provoca una disminución en la concentración de la glucosa plasmática, que, posteriormente, se contrarresta con un incremento de la absorción intestinal de la glucosa, con el objetivo de normalizar los niveles plasmáticos de glucosa. Para la mayoría de los individuos, esta reducción en las concentraciones de glucosa en sangre es transitoria y de poca importancia funcional¹².

Ingesta durante el ejercicio

Las pruebas de resistencia de alta intensidad (> 65% $\text{VO}_{2\text{max}}$) y larga duración se caracterizan por un descenso paulatino y constante de la concentración de glucógeno en los músculos activos. Aunque el glucógeno no es la única fuente energética, es necesario para mantener la intensidad y su descenso va a ser compensado por la glucosa plasmática, que va a ser suministrada por el hígado (glucógeno almacenado y conversión de sustratos como el lactato o la alanina en glucosa). La disminución de la glucosa en plasma que se produce durante el ejercicio prolongado es una indicación de que el hígado no puede suministrar suficiente glucosa una vez que sus reservas de glucógeno se agotan. Bajo estas condiciones, la glucosa suplementaria puede ser beneficiosa para el rendimiento⁸. Por tanto, el objetivo de la alimentación durante el ejercicio es proporcionar una fuente fácilmente disponible de combustible exógeno, ya que los almacenes endógenos de glucógeno se agotan⁷.

La tasa máxima de oxidación de carbohidratos exógenos durante el ejercicio de intensidad moderada es de 0,8 a 1,0 $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$. Esto proporciona un poco menos de 1 mJ de energía, mientras que algunas formas de ejercicio requieren cuatro veces esta cantidad. Esto sugiere que existe un potencial para la suplementación con la grasa durante el ejercicio. Varios estudios han utilizado triglicéridos de cadena media como fuente de combustible suplementario durante el ejercicio. Por lo tanto, la ingestión conjunta de hidratos de carbono y grasa antes y durante el ejercicio puede prevenir la disminución del metabolismo de la grasa que se observa cuando se ingieren carbohidratos solos¹³. La velocidad limitante en la oxidación de los hidratos de carbono ingeridos es debida a su absorción

intestinal, específicamente, al tipo de mecanismo de transporte. Así, si la glucosa se consume en combinación con un glúcido como la fructosa, que es absorbida por un mecanismo de transporte diferente, la tasa global de carbohidratos ingeridos puede ser superior a 1,5 $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$. Siguiendo esto, la recomendación de ingesta de glucosa y fructosa se eleva a 80-90 $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$, en una proporción de 2:1. Además, se ha demostrado que el tiempo hasta el agotamiento se incrementa con la ingesta de fructosa y es dependiente de la dosis¹². Las mejoras en el rendimiento son significativamente mayores cuando el sujeto recibe mayores cantidades de fructosa. El posible mecanismo por el cual la ingesta de fructosa podría ahorrar glucógeno muscular es su influencia sobre los lípidos plasmáticos, ya que permite aumentar el uso de las grasas¹⁹. Así, el azúcar (sacarosa) se convierte en un estupendo suplemento al suministrar tanto glucosa como fructosa.

Por otro lado, en pruebas inferiores a 60 min de duración las recomendaciones sugieren no dar ningún aporte específico de carbohidratos. No obstante, la ingesta de 300-500 ml de bebida con una concentración de carbohidratos del 6-10%, cada 15 min a una temperatura de 8-12° C, podría ayudar a preservar el glucógeno muscular y equilibrar la pérdida de líquidos, sobre todo si el ejercicio se realiza a altas temperaturas. Para eventos de entre 1 a 3 h de duración se recomienda la ingesta de 800-1.400 $\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$ de líquido, con una concentración de carbohidratos del 6-8 % y una concentración de sodio de 10-20 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Cuando la duración del ejercicio supera las 3 h es recomendable ingerir unos 1.000 $\text{ml}\cdot\text{h}^{-1}$ de líquido con una cantidad de sodio de 23-30 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Ingesta tras el ejercicio

Tras realizar un esfuerzo físico de más de 1 hora de duración, las reservas de glucógeno muscular pueden quedar vacías, con una pérdida que puede estar en torno al 90%. Como consecuencia, se precisa un aporte exógeno de sustratos para alcanzar los niveles de glucógeno previos al ejercicio. La recarga completa de las reservas de glucógeno muscular tras el ejercicio transcurre entre las 24 y 48 primeras horas, siendo el ritmo de resíntesis directamente proporcional a la cantidad de carbohidratos en la dieta durante las primeras 24 horas¹³. La restauración del glucógeno muscular y hepático es un objetivo fundamental de la recuperación entre sesiones de entrenamiento o eventos competitivos, especialmente, cuando el deportista se compromete a múltiples sesiones de entrenamiento dentro de un período de tiempo condensado^{6,8}. Anteriormente se pensaba que eran necesarias 48 horas para recuperar los almacenes musculares y hepáticos a niveles de reposo. Ahora se acepta que, en ausencia de daño muscular grave, las reservas de glucógeno se pueden normalizar con 24 h de entrenamiento reducido y el consumo de combustible adecuado^{7,8}.

La dieta posterior a cada sesión de ejercicio debería contener suficientes carbohidratos como para reponer las reservas de glucógeno y maximizar el rendimiento poste-

rior (un promedio de 50 g de alimentos ricos en carbohidratos por cada 2 horas de ejercicio). El objetivo debería ser ingerir un total de aproximadamente 600 g de alimentos ricos en carbohidratos de alto y moderado índice glucémico en 24 h⁶. Después de un ejercicio intenso, la síntesis de glucógeno muscular necesita recuperar alrededor de 100 mmol·kg⁻¹, con una tasa de síntesis de glucógeno de 5 mmol·kg⁻¹·h⁻¹, requiriéndose alrededor de 20 h para la recuperación (normalización) de las reservas de glucógeno. El consumo de carbohidratos en las primeras 2 h después del ejercicio permite un ritmo algo más rápido de síntesis (7-8 mmol·kg⁻¹·h⁻¹) de lo normal. Por este motivo, el deportista debe ingerir suficientes carbohidratos después del ejercicio tan pronto como sea posible, especialmente en la primera hora posterior al ejercicio debido a la activación de la enzima glucógeno-sintasa por la depleción del glucógeno, el incremento de la sensibilidad a la insulina y la permeabilidad de la membrana de las células musculares a la glucosa. La síntesis de glucógeno a lo largo del día es similar, tanto si los hidratos de carbono se consumen como comidas grandes o como una serie de pequeños aperitivos, sin existir diferencias entre su ingesta en forma líquida o sólida, siendo solamente importante la cantidad total de carbohidratos ingerida. Principalmente, los alimentos ricos en carbohidratos deben tener un alto índice glucémico (aumentan en mayor medida los almacenes de glucógeno muscular), mientras que los de bajo índice glucémico no deben constituir más de un tercio de las comidas de recuperación^{1,6,9}.

En función del tipo de actividad, las recomendaciones (gramos de carbohidratos) son las siguientes (tabla I y II)⁶:

- Recuperación inmediata después del ejercicio (0-4 h): 1,0-1,2 g·kg⁻¹·h⁻¹, cada 2 horas.
- Recuperación diaria < 1 h·día⁻¹ de ejercicio de baja intensidad: 5-7 g·kg⁻¹·día⁻¹.
- Recuperación diaria 1-3 h·día⁻¹ de entrenamiento de resistencia moderado a intenso: 7-10 g·kg⁻¹·día⁻¹.
- Recuperación diaria > 4-5 h·día⁻¹ de entrenamiento moderado a muy intenso: 10-12 g·kg⁻¹·día⁻¹.

Durante las primeras horas se deben ingerir comidas con un 70-80% de hidratos de carbono, para evitar ingerir muchas proteínas, fibras y grasas, que además de suprimir la sensación de hambre y limitar la ingesta de hidratos de carbono, pueden provocar problemas gastrointestinales, en cuyo caso son preferibles los preparados líquidos. A su vez, las bebidas deportivas, cuyo objetivo es provocar fundamentalmente un ambiente anabólico, deberán inducir un aumento de la glucemia y en consecuencia de la insulina, potenciando así el efecto de las distintas hormonas anabólicas para estimular la síntesis de glucógeno hepático y muscular¹⁴.

Dietas bajas en carbohidratos

Después de tratar extensamente la importancia de ingerir grandes cantidades de hidratos de carbono para

el deporte, se explicará la alternativa contraria: dietas bajas en azúcares. Se sugiere como dieta baja en carbohidratos aquella que aporta menos de 50-150 g·día⁻¹, y su influencia sobre el rendimiento deportivo también ha sido estudiada.

Las dietas bajas en carbohidratos y altas en grasas se han planteado como un mecanismo potencial para mejorar el rendimiento de los ejercicios de resistencia. Sin embargo, entre los deportistas, estas dietas se perciben como algo negativo para el rendimiento. Los autores que proponen estas dietas sugieren que esta práctica dietética proporciona grandes cantidades de lípidos como sustrato energético para la síntesis de ATP. Las dietas bajas en carbohidratos resultan en adaptaciones metabólicas y hormonales que pueden mejorar la oxidación de las grasas y promover el ahorro de glucógeno muscular durante el ejercicio. Similar a las adaptaciones al entrenamiento de resistencia, se produce un cambio hacia una mayor oxidación de la grasa como combustible en reposo y durante el ejercicio, que puede ser debido a una combinación del aumento de las enzimas oxidativas, al aumento de la densidad mitocondrial, el mayor almacenamiento y utilización de triglicéridos intramusculares, y a la mayor captación muscular de ácidos grasos libres del plasma. Esta combinación de mecanismos conduciría a una reducción de la glucólisis muscular y oxidación de carbohidratos y contribuiría a una mayor utilización de los ácidos grasos libres durante el ejercicio¹⁴.

La baja cantidad de glucógeno almacenado en el cuerpo humano plantea una limitación en la capacidad de mantener una potencia alta durante el ejercicio de resistencia prolongada. Se ha argumentado que una de las consecuencias de una dieta baja en carbohidratos puede ser una disminución en el contenido de glucógeno muscular antes del ejercicio, especialmente en individuos no entrenados, lo que puede frustrar el propósito de crear el efecto ahorrador de glucógeno. Por lo tanto, los estudios apuntan a que el aumento de la ingesta de hidratos de carbono tiende a provocar menos perturbaciones en el rendimiento deportivo en comparación con las dietas bajas en carbohidratos^{14,15}.

Debilidades

El ejercicio físico en general tiene unas demandas energéticas y de azúcares muy definidas. Por ello, la actividad metabólica durante la actividad física y el entrenamiento, puede suponer un problema en la homeostasis de las personas sanas, y más aún en poblaciones de riesgo, si las necesidades en función de la actividad a realizar no están cubiertas. De esta forma, el desconocimiento y la falta de asesoramiento por profesionales cualificados de estas necesidades puede suponer la puesta en marcha de una serie de iniciativas (suprimiendo alimentos y favoreciendo otros) que pueden conllevar un riesgo desmedido e injustificado en muchos casos.

Amenazas

La dificultad para establecer las necesidades específicas para cada actividad física, según la intensidad y el volumen del ejercicio, supone una amenaza importante, así como la proliferación de campañas publicitarias o dietas milagro que desprestigian los beneficios de la ingesta de azúcar para el deporte. Actualmente, los métodos de cuantificación de la actividad física permiten conocer las necesidades energéticas de cada actividad, aunque diversos factores de confusión como la edad o el sexo, pueden influenciar la exactitud de estas medidas. Aún así queda mucho para poder cuantificar con verdadera exactitud las necesidades concretas de azúcares de cada persona en cada situación.

Fortalezas

El presente texto permite una aproximación pedagógica a la comprensión de las necesidades generales de azúcares en función del tipo de ejercicio físico: de resistencia o de fuerza.

Actualmente, se conocen las necesidades para muchas actividades, así como la importancia o la influencia que puede tener una adecuada ingesta en el rendimiento. Sin embargo, se necesita seguir trabajando en esta línea de investigación.

Oportunidades

La demanda por conocer con exactitud las necesidades de azúcares adaptadas a cada persona y situación, crea oportunidades de trabajo para los grupos de investigación dedicados al estudio de las necesidades glucémicas concretas. Estos grupos están trabajando tanto con poblaciones patológicas como sanas. Algunas líneas de trabajo permitirán mejorar la administración de la insulina en diabéticos, así como su interacción con el ejercicio.

Recomendaciones

Todas las recomendaciones de ingesta de carbohidratos ya han sido plasmadas a lo largo del texto, sin embargo debemos recordar que es importante valorar el tipo de esfuerzo a realizar, porque dependiendo de sus características así deberá de ser la ingesta de azúcares. En poblaciones de riesgo, el seguimiento de los niveles de glucosa en sangre durante el ejercicio debería ser una práctica habitual.

Conclusiones

El músculo esquelético y el hígado son los principales almacenes de glucógeno del organismo. Estos almacenes, junto con la glucosa sanguínea, son la principal fuente energética en la mayoría de los deportes. Por tanto, la disponibilidad de carbohidratos durante el ejercicio así como

una posterior recuperación de los depósitos de glucógeno juegan un papel primordial en el rendimiento de las diferentes modalidades deportivas. La disminución de los niveles de glucógeno muscular (sustrato para el músculo y el sistema nervioso central) se convierte en un factor limitante del rendimiento. Existe evidencia de que una dieta alta en carbohidratos y la ingesta de los mismos antes y durante el ejercicio es beneficiosa debido al aumento de las concentraciones hepáticas de glucógeno y el mantenimiento de las concentraciones de glucosa en sangre. Su efecto sobre el rendimiento deportivo dependerá principalmente de las características del esfuerzo, del tipo y cantidad de carbohidratos ingeridos y del momento de la ingesta. También es importante para los deportistas reponer las reservas de glucógeno después del ejercicio, de cara a proporcionar la energía suficiente para la siguiente sesión de entrenamiento o competición, a través de una dieta rica en carbohidratos de alto o moderado índice glucémico, pudiendo potenciarse la síntesis del glucógeno a través de la adición de proteínas a las ingestas. En conclusión, el azúcar (sacarosa) se convierte en un estupendo suplemento al suministrar tanto glucosa como fructosa.

Referencias

1. González-Gross M, Gutiérrez A, Mesa JL, Ruiz-Ruiz J, Castillo MJ. Nutrition in the sport practice: adaptation of the food guide pyramid to the characteristics of athletes diet. *Arch Latinoam Nutr* 2001; 51 (4): 321-31.
2. Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *J Physiol* 2012; 590 (5): 1069-76.
3. Calderón FJ. Fisiología Humana. Aplicación a la actividad física. Madrid: Médica Panamericana, 2012.
4. Holloszy JO, Kohrt WM. Regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise. *Annu Rev Nutr* 1996; 16: 121-38.
5. Aoi W, Naito Y, Yoshikawa T. Exercise and functional foods. *Nutr J* 2006; 5: 15.
6. Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci* 2004; 22 (1): 15-30.
7. Brown RC. Nutrition for optimal performance during exercise: carbohydrate and fat. 2002. *Curr Sports Med Rep* 1(4): 222-9.
8. Genton L, Melzer K, Pichard C. Energy and macronutrient requirements for physical fitness in exercising subjects. *Clin Nutr* 2010; 29 (4): 413-23.
9. Rodríguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (3): 709-31.
10. Scott CB. Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Strength Cond Res* 2006; 20 (2): 404-11.
11. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32 (9): S498-504.
12. Craig BW. The influence of fructose feeding on physical performance. *Am J Clin Nutr* 1993; 58 (Suppl.): 815-819S.
13. Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci* 2011; 29: S17-27.
14. Cook CM, Haub MD. Low-carbohydrate diets and performance. *Curr Sports Med Rep* 2007; 6 (4): 225-9.
15. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993; 265 (3 Pt 1): E380-91.
16. Morales M, Calderón FJ, Benito PJ, Lorenzo I. Fisiología del Ejercicio. In: Maroto Montero JM, Pablo Zarzosa CD, editores. Rehabilitación Cardiovascular. Madrid: Médica Panamericana: 229-252, 2011.