3.1 Optimización de la recuperación intensa con nutrición

3.1.1 Rehidratación rápida

Después de un entrenamiento duro o un partido, los jugadores generalmente pierden entre 1 y 2 kg de masa corporal (Broad, Burke, Cox, Heeley y Riley, 1996). Esto se clasifica como deshidratación baja a moderada. La pérdida del 2 % de masa corporal no se considera un problema, pero la pérdida de más del 2 % (1.6 kg para un jugador de 80 kg) podría tener un efecto en el desempeño (Nuccio, Barnes, Carter y Baker, 2017), especialmente en condiciones de calor (como veremos en la sección sobre entornos extremos). La deshidratación puede tener varios efectos en el desempeño en la carrera de los jugadores de fútbol, como se ha demostrado en varios estudios; sin embargo, también puede afectar el funcionamiento cognitivo o la técnica (Nuccio y cols., 2017). Entre los jugadores del FC Barcelona, se midió entre un 0.5 y un 1.3 % de pérdida de masa corporal durante el entrenamiento en condiciones de frío y calor. Durante el entrenamiento, los jugadores tuvieron acceso a líquidos, por lo que, con su ingesta de líquidos a voluntad, en realidad la deshidratación no fue un problema, ya que se mantuvo dentro del 2 % de pérdida de masa corporal. Este es un hallazgo común: la pérdida de líquidos durante la práctica de fútbol suele ser inferior al 2 % del peso corporal (Broad y cols., 1996) durante el entrenamiento, incluso en verano. Con base en esto, la conclusión lógica es que la deshidratación no es un problema importante en la mayoría de las situaciones de entrenamiento de fútbol. Sin embargo, está claro que hay jugadores que sudan más y de manera más constante que otros; muy probablemente, estos jugadores perderían más del 2 % del peso corporal por deshidratación en condiciones de calor y durante el juego, cuando hay poco acceso a líquidos (hallazgos no publicados).

En la sección sobre entornos extremos, se analizan en mayor profundidad los efectos del calor en la termorregulación, la sudoración y el desempeño. Al hacer ejercicio en condiciones calurosas, las pérdidas de sudor pueden ser muy grandes y es importante identificar a aquellos jugadores que tienen tasas de sudoración extremadamente altas. Para eso, pueden hacerse mediciones simples del peso corporal antes y después del entrenamiento y los partidos (los procedimientos exactos se analizan en la sección sobre entornos extremos). Cuando hacen estas mediciones de forma regular, es posible predecir las tasas de sudoración

con una precisión razonable que permite identificar a los jugadores que necesitan más atención. Al medir las pérdidas a través del sudor, también es posible dar consejos más detallados sobre el consumo de líquidos después del ejercicio. A menudo, este consejo se expresa como un porcentaje de la pérdida de masa corporal, como veremos a continuación.

Después del ejercicio, el equilibrio hídrico puede restituirse relativamente rápido. La importancia de esto depende principalmente del grado de deshidratación, la sincronización del siguiente entrenamiento o del desempeño (si es menos de 8 horas, puede ser necesaria una estrategia de consumo más agresiva) y si se puede tolerar el líquido.

Una estrategia de bebida más agresiva para restablecer el equilibrio hídrico es importante en las siguientes condiciones:

- En el caso de hipohidratación severa (4 a 5 % de la masa corporal). En esta situación, es importante restablecer el equilibrio hídrico rápidamente. A menudo, estos niveles de deshidratación afectan el hambre y si el jugador no come, afectarán todos los demás aspectos de la recuperación. En caso de deshidratación severa, se recomienda priorizar la restauración del equilibrio hídrico.
- Cuando los deportistas necesitan participar en una competición posterior en un período relativamente corto (<8 horas, es decir, dos sesiones de entrenamiento por día). Si faltan más de 8 horas aproximadamente para la siguiente práctica o partido, lo más probable es que beber y comer normalmente restablezca el equilibrio hídrico (Shirreffs y Sawka, 2011).
- Cuando la comida no puede ser tolerada, no está disponible o no se desea. Los líquidos también son una forma de suministrar otros nutrientes como carbohidratos y proteínas, por lo que, cuando un jugador no puede comer o no puede tolerar los alimentos, a menudo es más práctico darles una bebida.

«En la mayoría de las demás situaciones, el agua y el sodio se pueden obtener a través de las prácticas normales de alimentación y bebida sin urgencia (Shirreffs y Sawka, 2011)» (Laitano, Runco, Baker, 2014, https://bit.ly/2BlJG6E). A continuación, analizaremos las directrices para una restitución rápida del equilibrio hídrico. ¿Qué cantidad de líquidos debe consumirse? ¿Cuáles son las mejores bebidas para restituir rápidamente el equilibrio hídrico?

Volumen de líquido

Al beber la cantidad exacta de líquido perdido durante el ejercicio en las 2 a 4 horas posteriores al ejercicio solo se restituirá entre un 50 y un 70 %

del equilibrio hídrico. Esto se debe en parte a que el consumo de líquidos dará lugar a una expansión del volumen plasmático y provocará una serie de respuestas que darán como resultado un aumento en la producción de orina. Por lo tanto, para restituir el equilibrio hídrico en un período corto, un jugador necesitaría beber una cantidad mayor que el líquido perdido. Shirreffs y cols. (Shirreffs, Taylor, Leiper y Maughan, 1996) proporcionaron a los sujetos una bebida electrolítica equivalente a 50 %, 100 %, 150 % o 200 % de pérdida de masa corporal durante el ejercicio anterior. El equilibrio hídrico neto solo se restituyó completamente 6 horas después, cuando el volumen hídrico ingerido fue mayor que el líquido perdido durante el ejercicio (150 % y 200 %). No hubo una clara ventaja de beber 200 % en comparación con 150 %. En el mismo estudio se analizaron 2 concentraciones diferentes de sodio. Cuando se agregaron 61 mmol/L de sodio, se mejoró el equilibrio hídrico en más de 23 mmol/L en volúmenes de ingesta del 100 % o más. A partir de estos estudios, se extrapoló la directriz de que para lograr una rehidratación completa y rápida, los deportistas deben beber 1.5 L de un líquido que contenga sodio por cada kg de masa corporal perdida (Shirreffs y Sawka, 2011). El volumen adicional compensa la diuresis estimulada por el rápido consumo de grandes volúmenes de líquido.

El rol del sodio

La adición de sodio a una bebida de reposición de líquidos ayudará a estimular una rehidratación más completa después de que un jugador incurra en una hipohidratación inducida por el ejercicio. El sodio ayudará a restablecer el volumen plasmático y el equilibrio hídrico en todo el cuerpo, en comparación con la ingesta de agua simple (Gonzalez-Alonso, Heaps y Coyle, 1992; Maughan y Leiper, 1995; Maughan, Owen, Shirreffs y Leiper, 1994; Shirreffs, Aragon-Vargas, Keil, Love y Phillips, 2007). La ingesta de sodio aumentará la concentración de sodio en la sangre y la osmolalidad, que a su vez estimulará la reabsorción renal del agua. Existe una relación inversa entre la producción de orina y el contenido de sodio del líquido ingerido (Maughan y Leiper, 1995), por lo que las concentraciones de sodio más altas significan una producción menor de orina. Es importante tener en cuenta que el sodio es el único electrolito importante en este sentido. Si bien el potasio puede cumplir una función en la distribución de líquidos dentro del organismo, el sodio es el principal impulsor de la hidratación general.

El volumen de líquido consumido es esencial para la rehidratación posterior al ejercicio. El sodio ayudará aún más a la retención. Esos son probablemente los dos factores más importantes que determinarán la rehidratación posterior al ejercicio. En la siguiente sección veremos una serie de bebidas e ingredientes diferentes que podrían mejorar aún más la hidratación (carbohidratos, proteínas) o empeorar la hidratación (alcohol, cafeína).

3.1.2 Bebidas con mejores propiedades hidratantes

Bebidas con carbohidratos

Existen algunas pruebas de que la inclusión de carbohidratos en una bebida de reposición de líquidos también puede tener un efecto en la retención de líquidos después de la deshidratación. En un estudio (Osterberg, Pallardy, Johnson y Horswill, 2010) se probaron los efectos de cinco bebidas diferentes en la retención de líquidos después de 90 minutos de ejercicio en condiciones de calor. El ejercicio indujo una deshidratación moderada (2 al 3 %). Los deportistas consumieron agua, un placebo o una solución de carbohidratos en diferentes concentraciones (3 %, 6 % o 12 %). Consumieron el volumen necesario para reponer el 100 % de las pérdidas de líquidos durante el ejercicio. Al final de un período de rehidratación de cuatro horas, la retención de líquidos fue significativamente mayor con todas las bebidas que contenían carbohidratos en comparación con el agua. No hubo una diferencia significativa entre el agua y el placebo. De manera similar, Evans, Shirreffs y Maughan (2009) compararon los efectos de las bebidas con el mismo contenido de electrolitos, pero con diferentes concentraciones de carbohidratos (0 %, 2 % y 10 %) sobre la retención de líquidos en sujetos que estaban deshidratados (1.9 % de la masa corporal). Se retuvo una cantidad significativamente mayor del líquido ingerido con la solución con 10 % de carbohidratos que con la solución con 0 % de carbohidratos.

Los efectos de los carbohidratos en la retención de líquidos después del ejercicio podrían deberse a varios factores:

- Un mecanismo que se debe considerar es la asociación pasiva de agua con soluto relacionada con el almacenamiento de glucógeno. El transporte de glucosa al hígado y las células musculares trae agua junto con el sustrato, lo que puede aumentar la retención de líquido intracelular y el agua corporal total.
- Los carbohidratos también podrían afectar la retención de líquidos al retrasar el vaciado gástrico o la absorción intestinal (por el aumento de la densidad de energía o la osmolalidad de las bebidas con mayor contenido de carbohidratos), lo que retrasaría efectivamente la aparición de líquido en el torrente sanguíneo. La absorción retardada de líquido o la mayor osmolalidad plasmática provocada por la bebida de carbohidratos atenuaría la excreción renal de agua.
- En tercer lugar, la respuesta de la insulina a la ingesta de carbohidratos podría mejorar la reabsorción renal de sodio (DeFronzo, Goldberg y Agus, 1976), lo que a su vez promovería la retención de agua.

Agua de coco

Se ha proclamado al agua de coco como la nueva bebida hidratante. Los gurúes del marketing afirman que tiene mejores propiedades hidratantes que el agua o las bebidas deportivas. Si bien es cierto que el agua de coco contiene algunos carbohidratos y electrolitos, contiene muy poco sodio, que, como hemos visto, es el electrolito que realmente importa. Además, se debe tener en cuenta que la composición del agua de coco varía enormemente en función de muchos factores, incluido el proceso de maduración (Fagundes Neto, Franco, Tabacow y Machado, 1993). Por ejemplo, «la concentración de glucosa se mantuvo constante entre el quinto y el octavo mes, pero disminuyó bruscamente después del noveno mes. En ningún caso el agua de coco contuvo concentraciones de sodio y glucosa con valor potencial como solución de rehidratación oral». (Fagundes Neto et al., 1993, https://bit.ly/2DOY5tV).

«Por lo tanto, las afirmaciones de que el agua de coco es una fuente de hidratación superior son infundadas. Sin embargo, sí es una forma natural de beber líquidos que también contienen algunos carbohidratos y electrolitos». (Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2FrFGFA).

Tabla 1: Composición del agua de coco en comparación con el agua y una bebida deportiva promedio

Composición (por litro)	Agua	Bebida deportiva	Agua de coco
Sodio (mg)	<100	280	420
Potasio (mg)	<10	2000	120
Carbohidratos (mg)	0	60-70	10-44
Kcal	0	240-280	40-176

Fuente: Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2FrFGFA

Los estudios confirman esto y encontraron (no sorprendentemente) que las propiedades hidratantes del agua de coco no son diferentes de las de una bebida deportiva (Kalman, Feldman, Krieger y Bloomer, 2012). Cuando se añadió sodio al agua de coco, las propiedades hidratantes mejoraron y el agua de coco enriquecida con sodio dio como resultado una hidratación más completa que el agua simple (Ismail, Singh y Sirisinghe, 2007). (Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2FrFGFA).

Leche

En un estudio (Shirreffs, Watson y Maughan, 2007), se investigaron las propiedades hidratantes de la leche baja en grasa con o sin un suplemento de 20 mmol/L de NaCl (es decir, 340 mg/L) y la compararon con una bebida deportiva y agua. Después de perder un 1.8 % de su peso corporal durante el ejercicio intermitente en un entorno caluroso, los sujetos ingirieron un volumen de bebida equivalente al 150 % de su pérdida de sudor. «La producción de orina acumulada fue menor después del consumo de bebidas lácteas»; (Shirreffs, Watson, & Maughan, 2007, https://bit.ly/2BkRq8O)al consumir leche, solo se produjo la mitad de la orina (mientras que el sodio solo tuvo un pequeño efecto adicional). «Los resultados del presente estudio sugieren que la leche puede ser una bebida efectiva para la rehidratación después del ejercicio». (Shirreffs et al., 2007, https://bit.ly/2BkRq8O). Por supuesto, también ayuda a alcanzar los requisitos de proteínas y carbohidratos.

Watson, Love, Maughan y Shirreffs (2008) compararon los efectos rehidratantes de la leche descremada con una bebida deportiva comercializada. Los deportistas primero se deshidrataron al 2.0 % de pérdida de masa corporal y luego consumieron leche descremada o una bebida deportiva con carbohidratos y electrolitos equivalente a un 150 % de la pérdida de masa corporal. Después de un período de rehidratación de tres horas, los sujetos habían eliminado más orina acumulada en la prueba con carbohidratos y electrolitos que en la prueba con leche. La diferencia fue igual a una diferencia neta de equilibrio hídrico de 326 ml o de 0.4 a 0.5 % de masa corporal.

> Se ha sugerido que el aumento de la densidad energética, así como la coagulación de la caseína en los productos lácteos, retrasan el vaciamiento gástrico (James, Clayton y Evans, 2011) y reducen la absorción de líquidos intestinales en comparación con las proteínas de suero de leche o las bebidas de glucosa. En consecuencia, un retraso en la entrada de líquido en el torrente sanguíneo atenuaría la reducción de la osmolalidad sérica y, como resultado, prolongaría el estímulo para la reabsorción renal del agua. (Baker & Jeukendrup, 2014, https://bit.ly/2DzOqas).

Cerveza deportiva

En general, se desaconseja consumir bebidas alcohólicas después del ejercicio debido a sus propiedades deshidratantes y debido a los efectos negativos en la síntesis de proteínas. Sin embargo, los estudios que sustentan estas ideas se realizaron con grandes cantidades de alcohol, lo que nos deja la pregunta de si la ingesta moderada de alcohol tiene

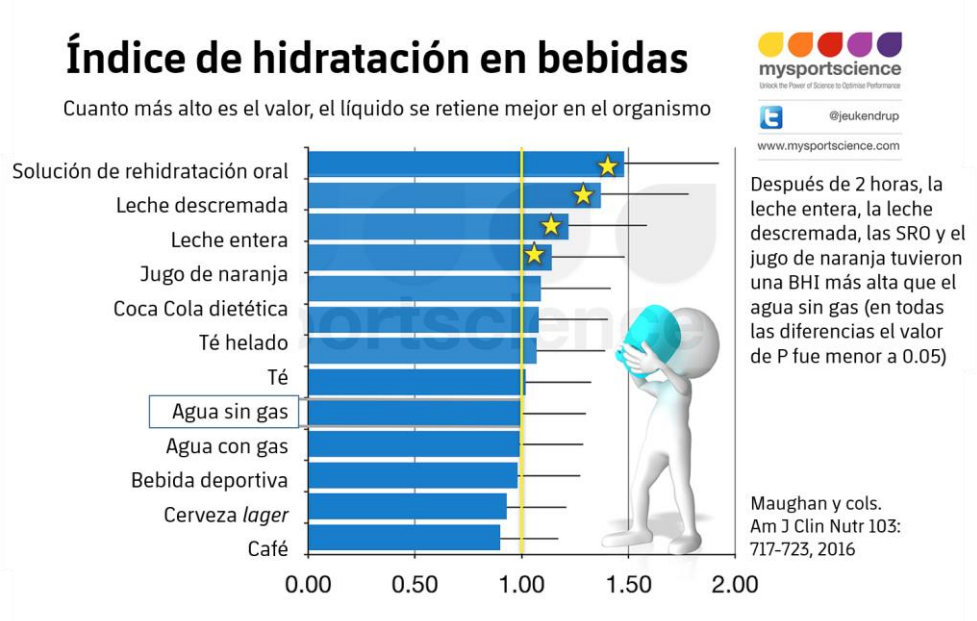
efectos negativos en la rehidratación después del ejercicio. En un estudio que comparó las propiedades hidratantes de diferentes bebidas, la cerveza no obtuvo una puntuación mucho peor que la del agua (Maughan y cols., 2016). El Dr. Ben Desbrow y sus colegas llevaron a cabo una serie de estudios (Desbrow y cols., 2015; Desbrow, Murray y Leveritt, 2013) para investigar los efectos de la cerveza con alcohol en la hidratación posterior al ejercicio.

> En sus estudios, la cerveza no logró restituir por completo el equilibrio hídrico en 4 horas, independientemente de qué tan fuerte fuese la cerveza o cuál fuese su contenido de electrolitos. Sin embargo, sí observaron que una cerveza ligera (con 2.3 % de alcohol) combinada con 50 mmol/L de sodio agregado era una solución de rehidratación más efectiva que la misma cerveza con la mitad del contenido de sodio o una cerveza de concentración media con o sin 25 mmol/L de sodio añadido. (50 mmol/L equivale aproximadamente a 3 gramos de sal de mesa por litro y 25 mmol/L, a 1.5 gramos por litro). En resumen, el consumo moderado de cerveza, ya sea diluida o consumida con agua, puede ayudar a la hidratación posterior al ejercicio. No hay razón para no tomar una cerveza, pero siempre debemos tener en cuenta los efectos negativos del consumo de cerveza/alcohol en mayores cantidades(Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2FuzNI4).

Comparación de bebidas

> El profesor Ron Maughan y sus colegas (R. J. Maughan y cols., 2016) se propusieron comparar varias bebidas distintas y captar las propiedades hidratantes en lo que llamaron el índice de hidratación de la bebida (BHI). Esto se analiza en (A. E. Jeukendrup, 2016b). En esencia, el índice compara cuánto se retiene de una bebida dos horas después del consumo en comparación con la misma cantidad de agua. Cuanto más alto es el índice, el líquido se retiene mejor en el organismo. Compararon 13 bebidas. Setenta y dos voluntarios consumieron 1 litro de cada una de estas bebidas. Durante las dos horas posteriores, se recolectó orina. Dos horas es un período práctico porque probablemente es similar a los patrones de consumo de bebidas normales (en comparación con las cuatro horas que se usaron en muchos estudios anteriores)(Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2exXoVU).

Figura 1: El índice de hidratación de la bebida es una medida de la rapidez con la que estas bebidas pueden rehidratar a una persona en las horas posteriores a la deshidratación.



Fuente: Jeukendrup, 2016b, https://goo.gl/Q6nnJV

Los resultados demostraron que algunas bebidas tenían mejores propiedades hidratantes que el agua. Quizás no sorprenda el hecho de que las soluciones de rehidratación oral obtuvieron el valor más alto. Estas bebidas altamente investigadas suministran líquidos rápidamente, y el alto contenido de electrolitos es responsable de la retención de líquidos (aunque no sea muy apetecible). Sin embargo, la leche descremada, la leche entera y el jugo de naranja obtuvieron una buena puntuación. Estas bebidas son más ricas en calorías y tienen más ingredientes que pueden retrasar el vaciamiento gástrico y la absorción gástrica, pero generan una mayor retención de líquidos en general.

Los otros efectos que pueden resultar sorprendentes son que la cerveza (*lager*), el café y el té tienen puntuaciones muy similares a las del agua. Ciertamente no demostraron las propiedades deshidratantes de las que suele hablarse. La diferencia entre la cerveza, el café, el té y el agua no tuvo importancia significativa desde el punto de vista estadístico. Es probable que las propiedades deshidratantes del alcohol y la cafeína se compensaran con las propiedades de retención de líquidos de los otros ingredientes. También es posible que el alcohol y la cafeína en cantidades muy pequeñas no tengan efectos diuréticos. Los primeros estudios que demostraron estas propiedades

se llevaron a cabo con cantidades mucho mayores de alcohol o cafeína(Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2exXoVU).

Otro resultado que se desprendió de este estudio fue que una serie de bebidas eran bastante similares al agua (bebidas deportivas, té, bebidas cola, Coca Cola dietética). Entonces, si bien algunas bebidas son mejores que otras para la retención de líquidos, la mayoría de las bebidas contribuirá a los requerimientos diarios de líquidos(Jeukendrup, 2018, https://bit.ly/2exXoVU).

El volumen consumido sigue siendo el factor más importante, más importante que el tipo de bebida consumida.

Administración de líquido por vía intravenosa

La rehidratación también puede lograrse mediante la administración de líquido por vía intravenosa en lugar de por vía oral. Con indicación médica, este método puede aplicarse a través de personal calificado. Sin embargo, es posible que beber siga siendo la mejor opción. Un estudio comparó la rehidratación por vía oral e intravenosa después de una reducción del 4 % en la masa corporal y demostró que la restitución del volumen plasmático, la osmolalidad plasmática, la concentración plasmática de sodio y las hormonas reguladoras de líquidos fueron similares, independientemente de la vía de administración del líquido. Tampoco hubo ventajas cardiovasculares, termorreguladoras o de desempeño relacionadas con la administración de líquidos por vía intravenosa frente a la administración por vía oral durante el ejercicio en condiciones de calor (Kenefick y cols., 2007). Entonces, en la mayoría de las condiciones, la administración de líquidos por vía oral sigue siendo la solución más práctica (y ética). Sin embargo, hay ocasiones en que la ingesta oral de líquidos no es posible ni práctica (traumatismo, náuseas, vómitos); en esas circunstancias, el personal médico puede decidir que la administración de líquidos por vía intravenosa es la mejor opción para una rehidratación rápida.

3.1.3 Restitución del glucógeno

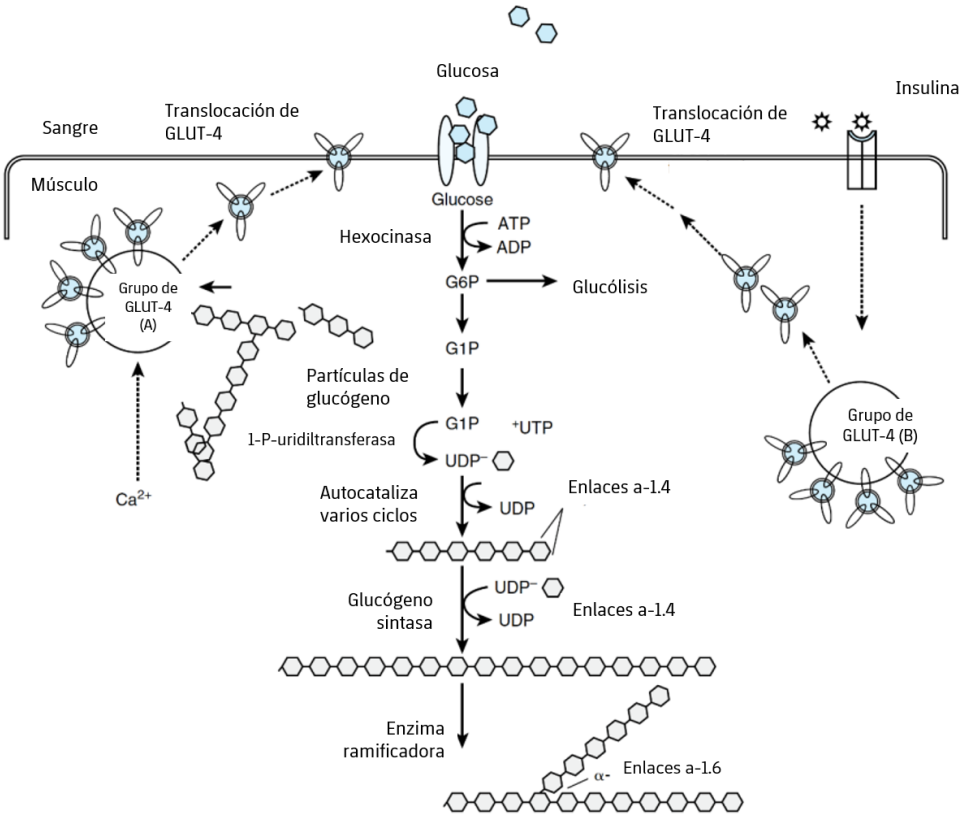
Dado que los reservorios glucogénicos en los músculos y el hígado están directamente relacionados con la fatiga (las reservas bajas pueden provocar una aparición temprana de fatiga), es importante comenzar a reabastecer los reservorios glucogénicos lo más pronto posible después del ejercicio (entrenamiento intenso o partido donde los reservorios glucogénicos se agotan o se vacían en un grado mayor). El reabastecimiento de glucógeno muscular y hepático puede alcanzarse mediante la ingesta de carbohidratos. Cuando se agotan los reservorios glucogénicos, este proceso toma al menos 24 horas, incluso en personas bien entrenadas. Es importante optimizar la síntesis de glucógeno, sobre todo si se tienen menos de 24 horas para la recuperación. En esta sección y en la siguiente, analizaremos las mejores maneras de maximizar la resíntesis de glucógeno después del ejercicio. Abordaremos algunas preguntas prácticas como: «¿cuál es la cantidad óptima de carbohidratos?», «¿cuál es el mejor tipo de carbohidratos?», «¿cuál es el mejor momento para la ingesta?», entre otras. Sin embargo, antes de observar el costado práctico, debemos comprender los mecanismos y factores subyacentes que influyen en la síntesis de glucógeno. Por lo tanto, en las siguientes secciones estudiaremos la regulación de la síntesis de glucógeno y analizaremos los factores que afectan el proceso.

Regulación de la síntesis de glucógeno

Antes de que el glucógeno pueda almacenarse en el músculo, la glucosa debe ser absorbida por el músculo. «La captación de glucosa en el músculo se produce a través de la difusión facilitada por el transportador de glucosa GLUT4»(Jeukendrup & Gleeson, 2018). La mayor parte de la glucosa transportada a través del sarcolema utilizará este sistema de transporte GLUT4. «El GLUT4 suele almacenarse en vesículas intracelulares, pero puede trasladarse a la membrana celular, fusionarse con la membrana celular y permitir el transporte de un volumen mayor de glucosa hacia la célula»(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

(Véase la Figura 2). Hay dos tipos de señales que activarán la translocación del GLUT4: la contracción muscular (a través de iones de Ca^{2+}) y la insulina (secretada cuando se ingiere glucosa)(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Figura 2: Mecanismos de transporte de glucosa al músculo y síntesis de glucógeno



Fuente: adaptado de Jentjens y Jeukendrup, 2003.

Una vez que la glucosa ingresa a la célula, la enzima hexocinasa se fosforila a glucosa-6-fosfato (G6P) de inmediato. Luego, la G6P se convierte en glucosa-1-fosfato (G1P), que se combina con trifosfato de uridina para formar difosfato de uridina (UDP)-glucosa. «Esta UDP-glucosa puede considerarse una molécula activada de glucosa. Es un portador de unidades de glucosa y lleva la molécula de glucosa al residuo de glucosa terminal de una molécula de glucógeno preexistente. La UDP-glucosa luego forma un enlace glicosídico a-1.4». (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

La enzima responsable de este paso es clave en el proceso de síntesis de glucógeno: la glucógeno sintasa. Si este fuese el único proceso, el glucógeno sería una larga cadena recta de moléculas de glucosa. Sin embargo, el glucógeno es una estructura con muchas ramificaciones. «Los puntos de ramificación (enlace glicosídico a-1.6), por lo tanto, se introducen en la estructura del glucógeno a través de una enzima ramificadora. Cuando la longitud de una cadena es de aproximadamente 12 residuos de glucosa, la enzima ramificadora separa una cadena de aproximadamente 7 residuos y la une a una cadena vecina a través de un enlace glicosídico a-1.6». (Jeukendrup & Gleeson, 2018).
La ramificación genera la formación de una molécula de glucógeno grande, pero compacta.

La tasa de síntesis de glucógeno depende de varios factores (Jeukendrup y Gleeson, 2018), como los siguientes:

1. la disponibilidad de glucosa;
2. el transporte de glucosa a la célula, que a su vez depende de:
   a. el ejercicio previo (el ejercicio estimula la captación de glucosa durante 1 a 2 horas después del ejercicio y aumenta la sensibilidad a la insulina),
   b. la concentración de insulina (la insulina alta estimula la captación de glucosa) y
   c. el contenido de glucógeno muscular (el glucógeno muscular bajo estimula la captación de glucosa); y
3. «la actividad de las enzimas (en particular la glucógeno sintasa), que también depende de la concentración de insulina (la insulina alta estimula la síntesis de glucógeno)». (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

«Como resultado de la actividad cambiante de estas enzimas y la efectividad de estos mecanismos de transporte, se pueden distinguir dos fases en el proceso de síntesis de glucógeno después del ejercicio». Estas fases son las siguientes:(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

1. la fase inicial independiente de la insulina, o «fase rápida» y
2. la fase dependiente de la insulina, o «fase lenta».

Fase rápida

> La enzima reguladora para la resíntesis de glucógeno después del ejercicio, la glucógeno sintasa, existe en una forma D inactiva y una forma I activa. Hay más glucógeno sintasa presente en la forma I activa cuando las concentraciones de glucógeno muscular son bajas. A medida que los reservorios glucogénicos se reponen, más glucógeno sintasa se transforma de nuevo en la forma D. El ejercicio activa la glucógeno sintasa (inmediatamente después del ejercicio, hasta el 80 % de la glucógeno sintasa puede estar en forma activa), pero el glucógeno solo puede formarse si hay sustrato (UDP-glucosa) disponible. Otro factor importante en la resíntesis de glucógeno, por lo tanto, es la disponibilidad de glucosa, que depende principalmente del transporte de glucosa a través del sarcolema. Durante el ejercicio y en la primera hora después del ejercicio, hay una gran cantidad de GLUT4 disponible en la membrana celular, que facilita la captación de glucosa en el músculo. Este efecto inducido

por el ejercicio sobre el transporte de glucosa, sin embargo, solo dura unas pocas horas ante la ausencia de insulina. El aumento en la permeabilidad del sarcolema a la glucosa después del ejercicio parece estar directamente relacionado con la cantidad de glucógeno presente en el músculo. Cuando las concentraciones de glucógeno muscular son muy bajas, la mayor captación de glucosa puede durar más tiempo. Con concentraciones más altas de glucógeno muscular, el efecto se revierte rápidamente(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Fase lenta

Cuando el efecto del aumento en el transporte de glucosa inducido por el ejercicio desaparece, la resíntesis de glucógeno se produce a una tasa mucho más lenta. La tasa a la que se produce la síntesis de glucógeno durante la fase lenta depende principalmente de la concentración de insulina circulante. Esto aumentará la translocación de GLUT4 a la membrana celular y el transporte de glucosa a la célula muscular. Además, la contracción muscular incrementa la sensibilidad a la insulina, un efecto que dura varias horas. Este incremento en la sensibilidad a la insulina después del ejercicio probablemente sea un factor importante durante la fase lenta de la síntesis de glucógeno, cuando prácticamente todo el transporte de glucosa depende de la insulina. En comparación con la fase rápida inicial, durante la fase lenta, la actividad de la glucógeno sintasa se reduce a medida que incrementan las concentraciones de glucógeno.

Una tasa alta de síntesis de glucógeno en las horas posteriores al ejercicio depende, en primera instancia, de la disponibilidad de sustrato. Ante la ausencia de ingesta de carbohidratos, las tasas de resíntesis de glucógeno son extremadamente bajas, a pesar del incremento de la sensibilidad a la insulina, el incremento de la actividad de la glucógeno sintasa y el incremento de la permeabilidad del sarcolema a la glucosa (Ivy, 1991). Si bien es poco probable que las concentraciones de glucógeno muscular se restituyan completamente a los niveles previos al ejercicio dentro de las 24 horas, todos los métodos de suplementación con carbohidratos que maximicen la restitución de glucógeno pueden beneficiar el desempeño.

Cinco factores principales han sido reconocidos como potencialmente importantes para promover la restauración de las reservas musculares de glucógeno

1. momento oportuno de la ingesta de carbohidratos
2. nivel de ingestión de carbohidratos
3. el tipo de carbohidrato ingerido
4. la ingestión de proteínas y carbohidratos después del ejercicio la ingesta de cafeína. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

En las siguientes secciones analizaremos cada uno de estos factores en mayor profundidad.

3.1.4 Optimización de la síntesis de glucógeno

Momento oportuno

«El momento de la ingesta de carbohidratos tiene un efecto importante en la tasa de síntesis de glucógeno muscular en las horas posteriores al ejercicio (Ivy, Lee, Brozinick y Reed, 1988)»(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

La ingesta de carbohidratos inmediatamente después (dentro de los 30 minutos posteriores) es más efectiva que retrasar la ingesta hasta las dos horas. «Cuando la ingesta de carbohidratos se retrasa hasta dos horas después del ejercicio, la concentración de glucógeno muscular después de cuatro horas es un 45 % menor en comparación con la ingesta de la misma cantidad de carbohidratos inmediatamente después del ejercicio (Ivy y cols., 1988). Las tasas promedio de resíntesis de glucógeno en las dos horas posteriores a la ingestión son de 3 a 4 mmol/kg de peso húmedo/h al ingerir carbohidratos después de dos horas y de 5 a 6 mmol/kg de peso húmedo/h al ingerirlos inmediatamente después del ejercicio»(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

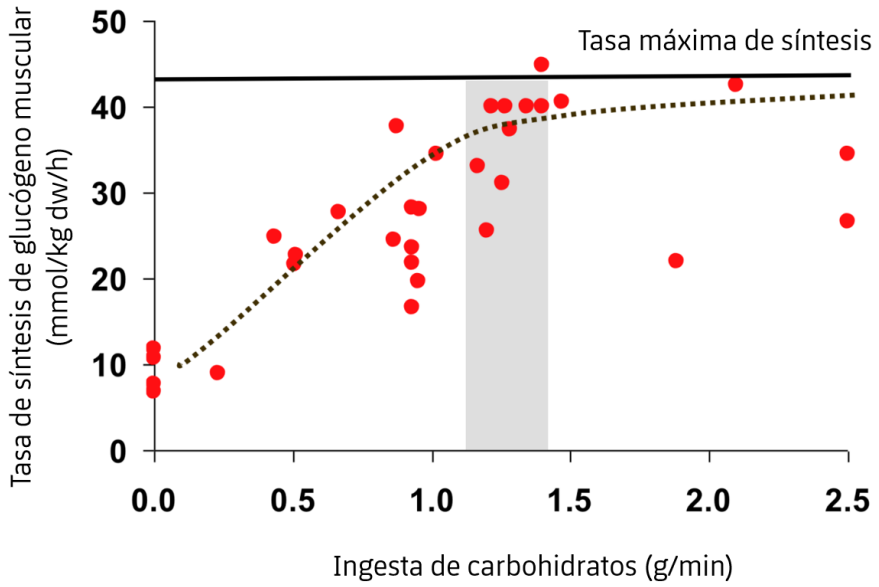
Claramente, cuando la ingesta de carbohidratos se retrasa hasta después de la «fase independiente de la insulina», se ingiere menos glucosa y se almacena como glucógeno, en parte porque, después del ejercicio, los transportadores de GLUT4 regresan lentamente de la membrana a sus sitios de almacenamiento intracelular.

La frecuencia de las comidas (más comidas pequeñas o menos comidas grandes) no parece afectar la síntesis de glucógeno (Burke LM y cols., 1996) y quizás esto esté relacionado con el hecho de que las comidas se acumulan en el estómago antes de ser absorbidas (lo que igualaría el suministro). También es posible que, por un lado, la ingesta de comidas más grandes dé como resultado un mayor suministro y una mayor síntesis de glucógeno; pero, por un lado, las comidas más pequeñas mantendrán niveles más altos de insulina durante todo el período de recuperación. Estos efectos pueden equilibrar el resultado neto.

Cantidad

Si no se ingieren carbohidratos después del ejercicio, la tasa de síntesis de glucógeno muscular será extremadamente baja (1 a 2 mmol/kg de peso húmedo/h). La ingesta de carbohidratos, especialmente en las primeras horas posteriores al ejercicio, resulta en una restitución mejorada del glucógeno muscular y, por lo general, el glucógeno se sintetiza a una tasa de entre 4.5 y 11 mmol/kg de peso húmedo/h. Las tasas de síntesis de glucógeno de una gran cantidad de estudios frente a la ingesta de carbohidratos están graficadas en la figura 3. Está claro que un incremento en la ingesta da como resultado un incremento en la síntesis. Sin embargo, a una ingesta muy alta de alrededor de 1.4 g/min (casi 90 g por hora), no parece haber ningún beneficio adicional. Por lo tanto, a menudo suele aconsejarse la ingesta de entre 70 y 90 g por hora durante las primeras horas posteriores al ejercicio. (Ivy y cols., 1988) Para evitar confusiones, cabe aclarar que esto no es algo importante después de cada entrenamiento. Esto solo es pertinente cuando hay un agotamiento grave de glucógeno y poco tiempo de recuperación.

Figura 3: Síntesis de glucógeno muscular como función de la ingesta de carbohidratos después del ejercicio



Fuente: Recuperado de (Jentjens y Jeukendrup, 2003).

Tipos de carbohidratos

La ingesta de diferentes tipos de carbohidratos tiene diferentes efectos sobre la síntesis de glucógeno. Blom, Høstmark, Vaage, Kardel y Maehlum (1987) demostraron que la ingesta de fructosa da lugar a tasas más bajas de síntesis de glucógeno muscular después del ejercicio en comparación con la ingesta de glucosa o sacarosa. Hay dos razones probables para esto. En primer lugar, la fructosa debe convertirse en glucosa en el hígado antes de que pueda utilizarse para la síntesis de glucógeno en el músculo; este proceso lleva un poco de tiempo. En segundo lugar, cuando la fructosa se absorba, pasará a través del hígado y, cuando el glucógeno hepático sea bajo, la fructosa se utilizará primero, preferentemente, para restituir el glucógeno hepático. Otro estudio demostró que la fructosa y la galactosa producen más síntesis de glucógeno en el hígado después del ejercicio que la glucosa (Decombaz, 2011). Al ingerir glucosa, más glucosa escapará del hígado y se transportará al músculo. Otros estudios confirmaron que la síntesis de glucógeno a partir de fructosa ocurre solo al 50 % de la tasa de síntesis de glucógeno a partir de glucosa.

En el estudio de Blom y cols. (1987), la ingesta de sacarosa dio lugar a niveles similares de glucógeno muscular cuatro horas después del ejercicio, en comparación con los mismos niveles después de la ingesta de glucosa.

> Debido a que el suministro de carbohidratos parece ser un factor y debido a que se ha demostrado que las combinaciones de múltiples carbohidratos transportables como la glucosa y la fructosa aumentan la absorción y el suministro al músculo durante el ejercicio, es posible que estas mezclas de carbohidratos también puedan incrementar la síntesis de glucógeno muscular después del ejercicio. Pero recientemente se observó que una combinación de glucosa y fructosa ingerida a tasas relativamente altas no mejoró la síntesis de glucógeno en comparación con la ingestión de glucosa solamente (Wallis y cols., 2008). Es posible que la fructosa se almacene preferentemente en el hígado después del ejercicio y, por lo tanto,(Jeukendrup A., & Gleeson, 2018, https://bit.ly/2FsrRXA)

llegue una menor cantidad al músculo. No obstante, la síntesis de glucógeno muscular fue similar en el caso de la glucosa-fructosa en comparación con la glucosa.

Proteínas

Ciertos aminoácidos tienen un potente efecto sobre la secreción de insulina. Esto planteó la cuestión de si al agregar aminoácidos o proteínas a una solución de carbohidratos se podría mejorar aún más la síntesis de glucógeno. Zawadzki, Yaspelkis III e Ivy (1992) compararon las tasas de resíntesis de glucógeno después de la ingesta de carbohidratos, proteínas o carbohidratos combinados con proteínas. Como era de esperar, al ingerir solo proteínas, se almacenó poco glucógeno. El almacenamiento de glucógeno incrementó al ingerir carbohidratos; sin embargo, al ingerir una combinación de carbohidratos y proteínas, las concentraciones de insulina y las tasas de síntesis de glucógeno fueron las más altas.

Estos resultados fueron reproducidos por van Loon, Kruijshoop, Verhagen, Saris y Wagenmakers, 2000. En lugar de proteínas, utilizaron una hidrólisis de proteínas que había dado como resultado una gran respuesta de insulina. En ambos estudios, se agregaron proteínas a los carbohidratos y, por lo tanto, también se proporcionaron calorías adicionales. Por lo tanto, van Loon y cols. (van Loon y cols., 2000) agregaron un ensayo adicional que constaba de una mayor cantidad de carbohidratos, pero la misma cantidad de calorías que la bebida de carbohidratos y proteínas. A pesar del hecho de que la bebida de carbohidratos combinados con proteínas generó una mayor respuesta de insulina, la resíntesis de glucógeno más alta se produjo con la cantidad isoenergética de carbohidratos. En conjunto, estos resultados

sugieren que la insulina es un factor importante, pero que el principal factor limitante es la disponibilidad de carbohidratos.

En un estudio de seguimiento, la mayor cantidad de carbohidratos utilizados en el estudio de van Loon y cols. (van Loon y cols., 2000) se comparó con la misma cantidad de carbohidratos con proteína agregada. En este estudio, no se observó ningún efecto adicional de la proteína. Esto significa que cuando la ingesta de carbohidratos es alta/óptima, la proteína no tendrá ningún efecto beneficioso.

Es posible que la proteína cumpla un rol en situaciones en las que una mayor ingesta de carbohidratos no sea práctica, posible o deseable. La ingesta de proteínas después del ejercicio, por supuesto, también ayudará a estimular la síntesis de proteínas.

Forma de carbohidratos

La forma de los alimentos en los que se suministran carbohidratos también tiene un efecto. Una bebida líquida de carbohidratos (o un batido de carbohidratos y proteínas) puede tener efectos diferentes a los que tiene una comida o una barra deportiva que contenga carbohidratos.

«Pocos estudios han investigado el efecto de los alimentos líquidos frente a los carbohidratos sólidos sobre la síntesis de glucógeno en las primeras horas posteriores al ejercicio». (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Keiser Kuipers, van Kranenburg y Geurten (1987) compararon las comidas con carbohidratos líquidos y sólidos y concluyeron que no había diferencias en la síntesis de glucógeno. El lector crítico, sin embargo, notaría que la comida sólida proporcionada en ese estudio contenía un poco más de carbohidratos que la comida líquida, y las diferencias en el contenido de grasa y proteína entre las dos comidas eran sustanciales(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Es probable que las comidas que contienen grasa, proteínas y fibra (que, como se ha demostrado, retrasan el vaciamiento gástrico y la absorción gástrica) den como resultado tasas y absorción de carbohidratos más bajas y una menor respuesta de la insulina. Estos factores deberían desacelerar la síntesis de glucógeno muscular. Las pruebas para esto provienen de estudios en los que se compararon alimentos con diferentes índices glucémicos.

Índice glucémico

El índice glucémico (IG) se refiere al incremento de la glucosa en sangre y la insulina en respuesta a una cantidad estándar de alimentos; este índice se determina al medir el área bajo la curva de glucosa. Por lo general, las mediciones de IG se basan en la ingesta de 50 g de carbohidratos y las mediciones de glucosa en sangre durante un período

de dos horas. Cuanto mayor es la respuesta de la glucosa, mayor es el área bajo la curva y mayor es el IG de los alimentos. Los alimentos suelen dividirse en tres categorías: alimentos con IG bajo, alimentos con IG moderado y alimentos con IG alto. «Los alimentos con IG bajo tienen un IG de 55 o menos, los alimentos con IG moderado tienen un IG de entre 56 y 70 y los alimentos con IG alto tienen un IG de 71 o más»(Jeukendrup & Gleeson, 2018). Las manzanas o las lentejas, por ejemplo, producen un aumento lento y reducido de la concentración de glucosa en sangre, mientras que el pan blanco o las papas producen un aumento rápido en la concentración de glucosa en sangre. Las manzanas y las lentejas, por lo tanto, se clasifican como alimentos con un IG bajo, y el pan y las papas se clasifican como alimentos con un IG alto (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

Los estudios han demostrado que ingerir la misma cantidad de carbohidratos en forma de alimentos con un alto índice glucémico, estimulará aún más la síntesis de glucógeno durante 24 horas, en comparación con los alimentos con bajo índice glucémico (Burke, Collier y Hargreaves, 1993). Es probable que la mayor parte de este efecto se deba al suministro más rápido de carbohidratos en las primeras horas posteriores al ejercicio cuando las tasas de síntesis de glucógeno son muy altas. También es posible que la mala absorción de carbohidratos de bajo índice glucémico reduzca la eficacia.

Entonces, en la teoría se prefieren las fuentes de carbohidratos con un índice glucémico alto. Sin embargo, la utilidad del índice glucémico como herramienta debe cuestionarse por varios motivos:

- En primer lugar, el índice glucémico para cualquier alimento dado varía considerablemente de un individuo a otro; por lo tanto, el valor indicado en una tabla puede aplicarse a usted o no.
- Además, a veces el índice glucémico de los alimentos puede ser confuso. En general, los alimentos con grandes cantidades de azúcar refinada (carbohidratos simples) tienen un índice glucémico alto, y las azúcares con alto contenido de fibra y carbohidratos complejos tienen un índice glucémico más bajo. Sin embargo, algunos carbohidratos complejos (como el almidón) pueden tener un índice glucémico alto.
- Los deportistas no comen simplemente fuentes de carbohidratos, sino comidas, y las comidas combinan distintos alimentos. Agregar cantidades relativamente pequeñas de grasa a un carbohidrato con un índice glucémico alto puede reducir sustancialmente el índice glucémico de los alimentos.
- El índice glucémico se expresa por cada 50 g de carbohidratos que contiene un alimento. Esto significa que, en algunos casos, se deben consumir cantidades poco realistas de alimentos para llegar a los 50 g. Tomemos el ejemplo de las zanahorias: una persona tendría que comer casi 1 kg de zanahorias para llegar a

los 50 g de carbohidratos. Entonces, el índice glucémico se convierte en un concepto puramente teórico, no práctico.

La carga glucémica (CG) es un método relativamente nuevo que se propuso para evaluar el efecto del consumo de carbohidratos, ya que tiene en cuenta el índice glucémico, pero es un poco más práctico. La CG toma el valor del índice glucémico y lo multiplica por la cantidad real de carbohidratos en una porción. Una CG es baja si está entre 1 y 10, media si está entre 11 y 19, y alta si es de 20 o más. Casi siempre, los alimentos con una CG baja tendrán también un IG bajo. Los alimentos con una CG intermedia o alta varían desde un IG muy bajo a uno muy alto. Si bien el de CG es un concepto útil, no suele aplicarse. La mayoría sigue haciendo referencia al índice glucémico.

«Este índice debe interpretarse y utilizarse con precaución. Probablemente sea una herramienta útil si se comprenden bien sus limitaciones y dificultades»(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Cafeína

«La combinación de cafeína con carbohidratos durante el ejercicio incrementó el suministro de glucosa al músculo y la oxidación» (Yeo, Jentjens, Wallis y Jeukendrup, 2005). (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Si la cafeína puede incrementar el suministro de glucosa durante el ejercicio, podría hacer lo mismo después del ejercicio, lo que podría generar un aumento en la síntesis de glucógeno muscular. En un estudio de Pedersen y cols. (Pedersen y cols., 2008), se agregó cafeína a una bebida de carbohidratos y se suministró a los sujetos durante un período de recuperación de cuatro horas después de un ejercicio exhaustivo que producía un agotamiento de glucógeno. En este estudio, la cafeína (una gran cantidad de 8 mg/kg) mejoró la síntesis de glucógeno. Sin embargo, un estudio de seguimiento realizado por Beelen y cols. no confirmó este hallazgo. En este estudio, la combinación con cafeína no mejoró la síntesis de glucógeno muscular después del ejercicio (Pederson y cols., 2008). La diferencia entre los dos estudios fue que, en el último, los sujetos recibieron cantidades recomendadas de carbohidratos después del ejercicio (1.2 g/kg/h), mientras que en el primero, las ingestas de carbohidratos fueron menores. Por lo tanto, es posible que si se ingieren suficientes carbohidratos, ni siquiera el consumo de grandes cantidades de cafeína tendría efecto(Jeukendrup A., & Gleeson, 2018, https://bit.ly/2qTprHq).

Creatina

Varios estudios han demostrado que la suplementación con creatina (usualmente, 20 g de monohidrato de creatina durante cinco días) puede mejorar la restitución del glucógeno después del ejercicio (Derave y cols., 2003; Nelson, Arnall, Kokkonen, Day y Evans, 2001; Robinson, Sewell,

Hultman y Greenhaff, 1999). La creatina parece «sensibilizar» al músculo después del ejercicio para la captación de glucosa, probablemente a causa un efecto en los transportadores de GLUT4. La creatina tiene otros beneficios potenciales que se analizarán en otra oportunidad. Uno de los efectos secundarios de la creatina es un aumento de peso de entre 1 y 2 kg (por retención de líquidos); esto debe tenerse en cuenta al utilizar el suplemento.