

Reposición del Glucógeno Muscular en la Recuperación del Deportista

Replenishment of muscle glycogen in the recovery of the athlete

Fernando Mata-Ordoñez¹, Moisés Grimaldi-Puyana² y Antonio Jesús Sánchez-Oliver^{3*}

1 Nutrición, Córdoba (España).

2 Departamento de Educación Física y Deporte de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla, Sevilla (España).

3 Área de Motricidad Humana y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla, Sevilla. Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España).

Resumen: Las estrategias nutricionales durante la fase de recuperación del deportista son fundamentales. Uno de los principales objetivos de la recuperación es la reposición del glucógeno muscular. Este aspecto se hace más importante cuando los deportistas se enfrentan a entrenamientos intensos o eventos competitivos con cortos periodos de recuperación. Además, la manipulación deliberada de su disponibilidad puede mejorar las adaptaciones moleculares al entrenamiento. La presente revisión tiene por objetivo informar sobre los aspectos fisiológicos básicos de esta situación, así como conocer el momento del consumo, la cantidad, el tipo y la interacción de diferentes nutrientes con los hidratos de carbono, para poder maximizar o jugar con la reposición del mismo en función de las necesidades y/o las estrategias planteadas. El glucógeno ya no debe ser visto como un simple almacén de energía sino como una molécula que puede desencadenar numerosos procesos celulares importantes para el deportista.

Palabras Clave: recuperación, glucógeno, hidratos de carbono, rendimiento, nutrición

Abstract: Nutritional interventions play a fundamental role during the post-exercise recovery phase. One of the main goals of recovery is restoring muscle glycogen stores. This becomes more important when athletes are subjected to intense training or competition with short recovery periods between bouts. Furthermore, manipulating muscle glycogen availability can improve molecular adaptations to training. The objective of this review is thus to present the basic physiological aspects of this phenomenon, and to discuss carbohydrate consumption, timing, type, and amount, as well as its interaction with different nutrients, in order to maximize or play with the restoration of muscle glycogen depending on the needs and/or the strategies proposed. Glycogen should no longer be seen as a simple form of energy storage, but as a molecule that can trigger numerous cellular processes important for athletic performance.

Keywords: recovery, glycogen, carbohydrates, performance, nutrition.

1. Introducción

La adecuada gestión/equilibrio entre estrés (carga de entrenamiento, competición y otras demandas) y recuperación es esencial para que los deportistas tengan un continuo rendimiento de alto nivel (Kellmann et al., 2018). La recuperación óptima tiene como resultado la restauración de parámetros orgánicos y psicológicos (Terrados, Mielgo-Ayuso, Delextrat, Ostojic, & Calleja-Gonzalez, 2018). De esta forma, cuando el entrenamiento y la recuperación se equilibran de manera apropiada, se producen adaptaciones fisiológicas positivas (Nieman & Mittleman, 2017). Sin embargo, el deportista se enfrenta a múltiples variables que pueden influir en su recuperación, como nutrición (Beck, Thomson, Swift, & von Hurst, 2015; Beelen, Burke, Gibala, & Van Loon, 2010; Burke & Mujika, 2014), sueño (Fullagar et al., 2015; Halson, 2014; Nédélec, Halson, Abaidia, Ahmaidi, & Dupont, 2015), viajes (Simmons, McGrane, & Wedmore, 2015), altitud (Nédélec et al., 2015), cambios de zona horaria (Simmons et al., 2015) y/o elevadas cargas de entrenamiento/competición (Heaton et al., 2017).

Diferentes estrategias como inmersión en agua fría, recuperación activa, prendas de compresión, masaje y estimulación eléctrica están siendo actualmente utilizadas con el fin de mejorar la recuperación del deportista, dependiendo su uso del tipo de actividad realizada, el tiempo hasta la próxima sesión de entrenamiento o competición, así como el equipo y personal médico disponible (Nédélec et al., 2013; Terrados et al., 2018). Entre los diferentes factores que pueden mejorar la recuperación del deportista, caben destacar el descanso y la nutrición (Heaton et al., 2017), siendo esta última uno de los métodos más populares y accesibles para facilitar la restauración del rendimiento y las perturbaciones fisiológicas posteriores al ejercicio (Ranchordas, Dawson, & Russell, 2017; Sánchez Oliver, 2013).

Como ya se ha comentado la aplicación de estrategias nutricionales específicas después del ejercicio para mejorar la recuperación representa un factor importante, permitiendo a los deportistas mantener la capacidad de rendir y mejorar la respuesta adaptativa al entrenamiento físico (Beelen et al., 2010). Las estrategias nutricionales durante la fase de recuperación tienen como principales objetivos: reposición del glucógeno muscular (Burke & Mujika, 2014), restablecer el balance hidroelectrolítico del organismo, reparación del tejido muscular dañado y adaptaciones al ejercicio (Evans, James,

Dirección para correspondencia [Correspondence address]: Antonio Jesús Sánchez-Oliver. Área de Motricidad Humana y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España). E-mail: asanchez38@us.es

Shirreffs, & Maughan, 2017) y, restaurar aquellos sistemas fisiológicos alterados durante el entrenamiento/competición como el sistema hormonal (Nieman & Mitmesser, 2017) y/o inmunológico (Peake, Neubauer, Walsh, & Simpson, 2017) (Figura 1). Sin embargo, aunque el soporte nutricional durante la fase aguda de la recuperación postejercicio es especialmente importante en deportistas que necesitan realizar múltiples sesiones de entrenamiento o competición en sucesivos

o mismo día, y así poder mantener el rendimiento durante el ejercicio posterior (Beelen et al., 2010), debe ser considerado el escenario donde se encuentra el deportista (entrenamiento frente a competición), con el fin de que manipulaciones nutricionales programadas durante la recuperación puedan servir como mecanismo de amplificación de la respuesta adaptativa al entrenamiento (Burke & Mujika, 2014).



Figura 1. Objetivos principales de las estrategias nutricionales durante la fase de recuperación.

Dada la extensa literatura de cada uno de los aspectos donde la nutrición puede jugar un papel destacado, la siguiente revisión se centrará en las diferentes estrategias nutricionales que conducen a la optimización de la restauración del glucógeno muscular, aspecto especialmente importante en deportistas que se enfrentan a entrenamiento(s) intensos o eventos competitivos con cortos periodos de recuperación (< 8h) y como, la manipulación deliberada de su disponibilidad, puede mejorar las adaptaciones moleculares al entrenamiento (Hawley, Lundby, Cotter, & Burke, 2018; Hearn, Hammond, Fell, & Morton, 2018; Impey et al., 2018).

La presente revisión tiene por objetivo informar sobre los aspectos fisiológicos básicos de esta situación, así como conocer el momento del consumo, la cantidad, el tipo y la interacción de diferentes nutrientes con los hidratos de carbono, para poder maximizar o jugar con la reposición del mismo en función de las necesidades y/o las estrategias planteadas.

2. El glucógeno, mucho más que un almacén de energía celular

El glucógeno es un polímero ramificado de glucosa (hasta 55000 unidades) unidas por enlaces glucocídicos α 1:4 y α 1:6 en torno a una proteína central, la glucogenina (Hearn et al., 2018). La importancia del glucógeno muscular como determinante de la capacidad de ejercicio se reconoció por primera vez ya a finales de 1960 con la introducción de la técnica de biopsia muscular en la fisiología del ejercicio (Close, Hamilton, Philp, Burke, & Morton, 2016). Sin embargo, la introducción de la biología molecular en las ciencias del deporte y el conocimiento de la interacción nutrición-genes ha establecido en la actualidad que el glucógeno es mucho más que un almacén de energía (Impey et al., 2018), actuando como regulador de diferentes vías de señalización relacionadas con el fenotipo oxidativo, sensibilidad a la insulina, procesos

contráctiles, degradación de proteínas y procesos autofágicos (Hearris et al., 2018).

Está bien establecido que las principales reservas de glucógeno se encuentran fundamentalmente en el hígado (aproximadamente 100g) y músculo (aproximadamente 400g), además de unos 5g de glucosa circulando en la sangre (Hearris et al., 2018). Asimismo, se ha observado la existencia de glucógeno en pequeñas cantidades en otros tejidos, siendo especialmente interesante el encontrado en el cerebro (Murray & Rosenbloom, 2018), debido a su posible relación con la fatiga central durante el ejercicio (Matsui et al., 2011).

En cuanto a su localización intracelular, el glucógeno se ha visto se encuentra distribuido en tres compartimentos (intramiofibrilar, intermiofibrilar y subsarcolemal), siendo usado de forma diferente durante el ejercicio en cada uno de ellos (Murray & Rosenbloom, 2018). La localización más relevante desde el punto de vista de fatiga y reposición, es el glucógeno intramiofibrilar. Éste es oxidado por las fibras de tipo I y tipo II durante el ejercicio, además de estar implicado en la salida de calcio del retículo sarcoplásmico y la contracción muscular, lo que su depleción conduce a la aparición de fatiga (Ørtenblad, Nielsen, Saltin, & Holmberg, 2011; Ørtenblad, Westerblad, & Nielsen, 2013).

Estudios actuales indican la existencia de un umbral de glucógeno (individual y dependiente de diferentes factores como el tipo de deporte/entrenamiento) por debajo del cual se amplifican diferentes respuestas celulares derivadas del entrenamiento (Knuiman, Hopman, & Mensink, 2015). Impey et al (2018) proponen una ventana de concentraciones de glucógeno, entre 300-100 mmol/Kg, que permiten amplificar las respuestas de señalización aguda al entrenamiento, procesos de remodelación muscular y el mantenimiento de la intensidad requerida en el entrenamiento.

Diferentes estudios han mostrado como periodos estratégicos de reducción de la disponibilidad de hidratos de carbono (CHO), conocidos en inglés como *training low*, aumentan marcadores moleculares de adaptación al entrenamiento (Bartlett, Hawley, & Morton, 2015; Impey et al., 2016). Por tanto, en contra de las recomendaciones tradicionales sobre el consumo de CHO, realizar de forma periódica y programada sesiones de entrenamiento de baja intensidad o corta duración con una baja disponibilidad de CHO, modula la activación de vías de señalización celular, promoviendo adaptaciones oxidativas inducidas por el entrenamiento que, en algunos casos, mejora el rendimiento (Impey et al., 2018).

Las estrategias incluyen entrenar dos veces al día con la segunda sesión baja en CHO tanto endógenos (glucógeno) como exógenos (ingesta de CHO), entrenamiento en ayunas, dormir bajo-entrenar bajo, dieta alta en grasa, restringir la ingesta de CHO durante o después de entrenamiento, son algunas de las estrategias que pueden ser utilizadas con este fin (Bartlett et al., 2015). Sin embargo, en el entorno real de

los atletas de resistencia de élite es probable que practiquen no una de las anteriores estrategias de forma aislada sino una amalgama de ellos, ya sea por defectos en la estructura del entrenamiento actual o bien través de la práctica de los entrenadores o científicos del deporte en oposición a una técnica aislada (Impey et al., 2018).

3. Reponer el glucógeno perdido: *Refueling*

La restauración de las reservas endógenas de CHO es crucial para determinar el tiempo requerido en la recuperación (Jentjens & Jeukendrup, 2003), por tanto, uno de los enfoques nutricionales principales en el deportista, tras el ejercicio, es la reposición del glucógeno muscular y hepático mediante la ingestión de CHO (Ranchordas et al., 2017).

El proceso de resíntesis de glucógeno muscular, comienza inmediatamente después del ejercicio, siendo mucho más rápido durante las primeras 5-6 h de recuperación (Goforth et al., 2003). Uno de los principales estímulos que llevan a una mayor síntesis de glucógeno se encuentra en su propia depleción (Murray & Rosenbloom, 2018). Sin embargo, el mayor determinante de la resíntesis de glucógeno muscular y hepático se encuentra en una elevada ingesta de CHO post esfuerzo inmediato y durante la recuperación, aumentando la resíntesis a 5-10 mmol/Kg de peso seco/h (Burke, van Loon, & Hawley, 2017).

La *estrategia óptima* de ingesta de CHO para maximizar las reservas de glucógeno varía mucho y depende de una serie de factores que incluyen, principalmente, la cantidad, el momento y el tipo de CHO ingeridos durante la recuperación (Alghannam, Gonzalez, & Betts, 2018; R. Jentjens & Jeukendrup, 2003).

Momento de la ingesta de carbohidratos

Para comprender la importancia del momento de la ingesta de CHO, es necesario entender cuáles son las dos fases de su resíntesis. Así, diferentes estudios han indicado que la resíntesis de glucógeno después del ejercicio se produce siguiendo un patrón bifásico (Mæhlum, Høstmark, & Hermansen, 1978; Price et al., 1994, 1996). Inicialmente, hay un aumento rápido en la tasa de resíntesis, independiente de las concentraciones de insulina y que dura aproximadamente 30-60 minutos después del ejercicio; esto respalda la alta síntesis de glucógeno en los 60 minutos inmediatos a la finalización del ejercicio (Alghannam et al., 2018). En esta fase se puede observar un aumento de la translocación de la proteína transportadora de glucosa (GLUT-4), debido a un aumento de las concentraciones de calcio a nivel del sarcoplasma del rabdomiocito (consecuencia, a su vez, de los múltiples potenciales de acción que tienen lugar durante el esfuerzo) (Domínguez, Mata-Ordoñez, & Sánchez-Oliver, 2017), de hasta dos veces,

disminuyendo gradualmente hasta alcanzar los niveles previos al ejercicio a las 2h después de su finalización (Goodyear et al., 1990). Se ha sido sugerido que esta fase, independiente a la insulina, solo ocurre cuando los niveles de glucógeno se agotan a niveles críticamente bajos (en torno a 150 mmol/pm/h) al final del ejercicio (Alghannam et al., 2018). La baja concentración de glucógeno conduce a un aumento de la actividad de la glucógeno sintasa (GS), enzima encargada de la síntesis de glucógeno (Burke & Mujika, 2014).

La segunda fase de almacenamiento de glucógeno ocurre a una tasa sustancialmente menor (aproximadamente 80% más baja), y está caracterizada por la mayor sensibilidad a la insulina, expresada con un aumento de la translocación de GLUT-4 y una mayor la actividad de la GS. Es conocido que la ingesta de CHO y un aumento concomitante de la glucosa e insulina aceleran la tasa de resíntesis de glucógeno muscular en esta fase, aunque de forma más lenta que en la primera (Alghannam et al., 2018).

En cuanto al glucógeno hepático, éste es rápidamente restaurado durante la ingesta de alimentos post ejercicio, ayudando al mantenimiento de una normoglucemia o bien, cuando la ingesta de CHO no se realiza post ejercicio, vía gluconeogénica a partir de lactato (Murray & Rosenbloom, 2018).

A la luz de los descrito anteriormente, parece existir una potencial *ventana de oportunidad* post ejercicio que los deportistas deberían aprovechar para la recuperación del glucógeno muscular (Ranchordas et al., 2017). De hecho, cuando se compara la ingestión inmediata de CHO respecto a una ingesta hasta 2 horas después del ejercicio, da lugar a concentraciones un 45% más bajas de glucógeno muscular (Ivy, Katz, Cutler, Sherman, & Coyle, 1988). Por tanto, se debería alentar a aquellos cuyos deportes sean altamente dependientes de glucógeno, por ejemplo, el fútbol, a reponer tan pronto como sea posible después de terminar el evento (Ranchordas et al., 2017).

En el contexto de la recuperación de ejercicio exhaustivo, se sabe que la ingesta de 6-12 g/Kg es suficiente para restaurar las reservas endógenas de glucógeno cuando el tiempo de recuperación es ≥ 24 h (Burke, Hawley, Wong, & Jeukendrup, 2011; Jensen et al., 2015). Sin embargo, cuando el tiempo de recuperación es limitado (< 8 h), se hacen necesarias estrategias específicas dirigidas a acelerar la resíntesis de glucógeno (Alghannam et al., 2018). De forma similar a los efectos del índice glucémico de los alimentos durante periodos más largos (es decir, 24h), la frecuencia de ingesta de CHO no parece influir en la resíntesis de glucógeno muscular, sin embargo, cuando el tiempo de recuperación es limitado, la frecuencia a la que se ingiere el CHO puede tener influencia. Esto ha quedado de manifiesto en estudios que han mostrado que una ingesta de CHO ocurrida en intervalos de 15-30 minutos, la tasa de resíntesis de glucógeno muscular es aproximadamente

un 40% más alta que cuando se suministra cada dos horas (Jentjens, van Loon, Mann, Wagenmakers, & Jeukendrup, 2001; van Hall, Shirreffs, & Calbet, 2000; van Loon, Saris, Kruijshoop, & Wagenmakers, 2000). Sin embargo, aunque actualmente no existen estudios que examinen directamente la frecuencia de administración de CHO en la tasa de almacenamiento de glucógeno muscular, parece razonable que, en función de los estudios anteriormente comentados, cuando se necesite una rápida repleción de glucógeno durante la recuperación a corto plazo, se utilice un patrón de alimentación de ingesta frecuente (Alghannam et al., 2018).

Cantidad de ingesta de carbohidratos

En relación a la cantidad de CHO recomendable para la reposición de glucógeno, van Loon et al. (2000) mostraron como la ingesta de 1,2 g/Kg/hora de CHO resultó en una resíntesis de glucógeno un 150% mayor (de 17 a 45 mmol/Kg dm/h) en relación a una dosis más baja de 0,8 g/Kg/hora (van Loon et al., 2000). Buscando la cantidad óptima al respecto, Howarth et al. (2009), mostraron como la ingestión de 1,6 g/Kg/hora no estimulaba más la resíntesis de glucógeno, considerando que la cantidad de CHO post ejercicio recomendada rondará 1,0-1,2 g/Kg/hora dentro de la primera hora del cese de ejercicio y continuará con una ingesta de 1,0-1,2 g/Kg/h cada 4-6 horas o hasta reanudar las comidas habituales (Burke et al., 2017).

Sin embargo, en deportes de equipo, como por ejemplo el fútbol, la literatura reciente no ha reportado aumentos de los niveles de glucógeno muscular por encima de los niveles previos al partido, 48 horas después del juego, a pesar de una ingesta elevada de CHO (10 g/Kg/día) (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006). Este hecho muestra, junto con otras evidencias (Gunnarsson et al., 2013; Krstrup et al., 2011), que la concentración de glucógeno muscular no es supercompensando hasta 48h después del partido (Ranchordas et al., 2017), lo que si se observa en otros deportes como en el ciclismo (Horswill, Hickner, Scott, Costill, & Gould, 1990). Esto puede deberse al alto componente excéntrico involucrado en este tipo de deportes, donde se produce un elevado daño muscular que interfiere en la resíntesis de glucógeno durante la recuperación (Krstrup et al., 2011). Este hecho se observa particularmente en las fibras de contracción rápida, las cuales tenían un contenido de glucógeno muscular más bajo respecto a las fibras de tipo I, 48 horas posterior a una dieta elevada en CHO (Gunnarsson et al., 2013), pudiendo tener implicaciones en la recuperación de aquellos jugadores más *explosivos*, y que, por tanto, tengan más cantidad de este tipo de fibras (Ranchordas et al., 2017).

Es importante aclarar, que el consumo de 10g CHO/Kg/día puede no generar ningún beneficio adicional a la restauración de glucógeno si no se tiene en cuenta la ingesta total

de energía realizada, ya que, por lo tanto, si se ingiere una adecuada cantidad de CHO después del ejercicio, la resíntesis de glucógeno puede verse no completada si existe insuficiente energía (kcal) (Murray & Rosenbloom, 2018).

Tipo de carbohidratos

Un factor importante que determina la resíntesis de glucógeno muscular es la captación de glucosa mediada por la insulina en las células musculares. La ingesta de CHO de moderado o alto índice glucémico (IG) es una buena opción para conseguir una restauración del glucógeno, en parte, por dar una rápida disponibilidad de glucosa y respuesta a la insulina (Kiens, Raben, Valeur, & Richter, 1990), ya que ha mostrado aumentar la resíntesis de glucógeno muscular en las 6 horas post ejercicio en comparación de fuentes de CHO con un bajo índice glucémico. Este hecho probablemente se deba a la peor absorción de los alimentos con CHO de bajo IG (Burke, Collier, & Hargreaves, 1993). A este respecto, un estudio mostró, como se almacenó menor glucógeno post ejercicio cuando se consumió un CHO de *pobre digestión*, como un almidón rico en amilosa, frente a glucosa, maltodextrina y almidón rico en amilopectina (Jozsi et al., 1996). Sin embargo, el consumo de un CHO de elevado índice glucémico no ha mostrado una clara ventaja en periodos de recuperación más largos (Kiens et al., 1990).

Cuando se compara fructosa con glucosa o sacarosa, se observa que la respuesta insulinémica es menor en la primera, lo que se atribuye a un uso mayor de este monosacárido en la resíntesis de glucógeno hepático (Alghannam et al., 2018; Delarue et al., 1993). Por otro lado, glucosa y sacarosa parecen tener un efecto similar en la resíntesis del glucógeno muscular como fue demostrado recientemente en un estudio, donde se mostró como la ingesta de 1,2 g/Kg/h de glucosa, glucosa + fructosa o glucosa + sacarosa durante la recuperación ocasionaban tasas similares de resíntesis glucógeno muscular (Trommelen et al., 2016). En relación a esto, se recomienda ingerir una mezcla de glucosa + fructosa que proporcione una dosis óptima de CHO para la restauración efectiva del glucógeno hepático y muscular, lo que reduce el malestar gastrointestinal ocasionado por la elevada ingesta de CHO (Alghannam et al., 2018). Esto queda latente al ver que el uso de sacarosa (disacárido constituido por una cantidad equimolar de glucosa y fructosa) parece ser más efectivo que el consumo solo de glucosa, a lo que se le suma, como se ha comentado anteriormente, la no aparición de molestias gastrointestinales frente a la ingesta de esta última sola (Fuchs et al., 2016; Maunder, Podlogar, & Wallis, 2017). Además,

un reciente estudio ha mostrado que cuando la recuperación debe ser inmediata, la mezcla de glucosa y fructosa (o sacarosa) a una tasa de $\geq 1,2$ g/kg/hora puede mejorar las tasas de repleción de glucógeno al tiempo que minimiza la dificultad gastrointestinal (Gonzalez, Fuchs, Betts, & van Loon, 2017).

La ingestión de formas líquidas o sólidas de CHO parecen ser igualmente efectivas en la restauración del glucógeno muscular, por lo que deberá primar la preferencia individual del deportista (Keizer, Kuipers, van Kranenburg, & Geurten, 1987). Sin embargo, y como apunta Ranchordas (2017), desde una perspectiva práctica sería interesante, dada la alta prevalencia de problemas gastrointestinales debidos al consumo de elevadas cantidades de CHO, que los deportistas tengan acceso a mezclas de alimentos tantos sólidos como líquidos, para así evitar dichos problemas. Además, se debe tener en cuenta las preferencias del deportista (gusto), practicidad (dos sesiones días, por ejemplo), disponibilidad (viaje post partido, estadio/eventos deportivos, por ejemplo) y algo importante, que promuevan el deseo de comer en los deportistas, de tal forma que se puedan adquirir las necesidades requeridas, ya que pueden existir una marcada disminución del apetito después de los eventos deportivos.

Coingestión con otros nutrientes

Diferentes factores nutricionales están siendo estudiados con el fin de potenciar la resíntesis de glucógeno junto con la ingesta de CHO (Figura 2). En este sentido, diferentes estudios han mostrado que la ingesta simultánea de CHO y proteínas puede ser beneficiosa para la resíntesis de glucógeno (Howarth et al., 2009). Esto se debe a que la ingesta de proteína eleva la secreción de insulina por el páncreas, estimulando la resíntesis de glucógeno. Además, se ha visto que los aminoácidos actúan en sinergia con los CHO para estimular la producción de insulina. Esta acción insulínica de las proteínas parece deberse, a dos factores: por un lado, al aumento de la liberación de incretinas por parte de las células enteroendocrinas del intestino, y en segundo lugar, por la estimulación directa de las células beta pancreáticas por las concentraciones de aminoácidos (Gonzalez et al., 2015; Mace, Schindler, & Patel, 2012). El tipo de proteína parece influir en la secreción de insulina. Así, la proteína hidrolizada ha mostrado tener un mayor efecto sobre la secreción de insulina que una proteína intacta, lo que se relaciona con su tasa acelerada de digestión y absorción (Koopman et al., 2009; Morifuji et al., 2010). Además, la proteína de suero parece ser un mayor estimulador de la insulina que la caseína, debido posiblemente a su mayor contenido en leucina (Reitelseder et al., 2011).



Figura 2. Efectos de la sinergia de nutrientes en la resíntesis de glucógeno.

Sin embargo, la adición de proteínas a los CHO en la fase de recuperación aumenta la resíntesis de glucógeno solo cuando se ingieren cantidades subóptimas de CHO ($\leq 0,8$ g/Kg/h) (Burke et al., 2017). Una reciente revisión indicó que cuando la cantidad de CHO ingerida es $\leq 0,8$ g/Kg/h, la adición de proteína puede mejorar las tasas de resíntesis de glucógeno muscular, en comparación a 1,2 g/Kg/h que no pareció influir la estimulación adicional de la insulina en el almacenamiento de glucógeno. La adición de al menos 0,3-0,4 g/Kg/h de proteína puede requerirse para lograr este efecto sinérgico en mezcla de CHO y proteínas sobre la liberación de insulina (Alghannam et al., 2018).

La creatina también ha sido estudiada en su acción sinérgica para la resíntesis de glucógeno. De esta forma, estudios han mostrado como la ingesta de monohidrato de creatina aumenta la expresión de genes envueltos en diferentes actividades, entre las que se encuentra la resíntesis de glucógeno, lo que se sugiere esta mediado por el efecto osmótico de esta ayuda ergogénica (Safdar, Yardley, Snow, Melov, & Tarnopolsky, 2008). Robert et al. (2016) observaron un incremento en el almacenamiento de glucógeno post ejercicio seguido de la ingesta de la suplementación de creatina (20 g/día) junto con una dieta elevada en CHO. Esto fue más evidente en las 24h después del ejercicio y fue mantenido durante 6 días de

recuperación post ejercicio con una dieta elevada en CHO. Es importante, considerar las ganancias del 1-2% de peso corporal que pueden deberse al uso de creatina, lo que puede interferir en algunos deportes, donde la ganancia de peso puede perjudicar el rendimiento (ej. salto de altura) (Burke et al., 2017).

Otros de los nutrientes estudiados al respecto es la cafeína. Así, una investigación observó que la ingesta de 8 mg/Kg de cafeína junto con CHO (1 g/Kg/h) resultó en una sustancial elevación del contenido de glucógeno durante 4h de recuperación post ejercicio (Pedersen et al., 2008). Sin embargo, se debe tener en cuenta la posible interferencia de esa elevada cantidad de cafeína en el sueño del deportista. Además, otros estudios similares no han encontrado diferencia en el contenido de glucógeno (Beelen, Van Kranenburg, Senden, Kuipers, & Van Loon, 2012). Una reciente revisión sistemática ha analizado como los diferentes compuestos contenidos en el café puede afectar a la resíntesis del glucógeno muscular, mostrando como alguno de esos compuestos pueden activar diferentes vías moleculares conducentes a un aumento de la síntesis de glucógeno muscular, lo que hace concluir a los autores la posibilidad del café como una opción en la recuperación del deportista (Silva, Lott, Wickrama, Mota, & Welk, 2018).

Diferentes compuestos están siendo estudiados en la actualidad con el fin de ver si mejora, en combinación con la ingesta de CHO, la resíntesis de glucógeno. De este modo, fenogreco (mimético de la insulina y que contiene un aminoácido, 4-hidroxileucina), ácido linolénico conjugado y ácido hidroxícítico (proveniente de la *Garcinia Cambogia*) se han estudiado sin efectos claros y, por tanto, es prematuro considerar estos compuestos con el fin de mejorar la resíntesis de glucógeno (Burke et al., 2017). Un estudio controlado con placebo y doble ciego, investigó los efectos de un extracto de té verde (ETV) (500mg) durante 8 semanas. El estudio mostró como suplementación con ETV no tuvo ningún beneficio en la promoción de la resíntesis de glucógeno muscular durante el período posterior al ejercicio (Tsai et al., 2017). Igualmente, en los últimos años se está señalando a los cuerpos cetónicos como una posible ayuda ergogénica eficaz. Un estudio publicado recientemente intentó demostrar el efecto de la adición de un éster de cetona a una bebida de recuperación compuesta por proteína y CHO. Los resultados mostraron como la adición de éster de cetona a la bebida de recuperación después del ejercicio mejoró la activación de mTORC1, pero no afectó a la resíntesis de glucógeno muscular en voluntarios jóvenes y sanos (Vandoorne et al., 2017).

Por último, se debe tener en cuenta que el alcohol puede interferir la repleción de glucógeno. En relación a esto, Burke et al., (2003) mostraron como la ingesta de alcohol (aproximadamente 120 g) podía interferir indirectamente sobre el almacenamiento de glucógeno en la recuperación, desplazando a la ingesta de CHO. Sin embargo, los efectos directos aún no han sido aclarados.

Conclusiones

La ingesta de CHO puede ser modulada en base a factores como el escenario (entrenar vs competir) y, por ende, el objetivo buscado en la recuperación del deportista. En el caso que el deportista requiera una rápida recuperación con el fin de asegurar un adecuado rendimiento en la sesión de entrenamiento/competición posterior, diferentes estrategias deben ser tomadas en cuenta para restaurar el glucógeno muscular. Así, la optimización de la recuperación a corto plazo (< 8h) es una consideración importante para aquellos deportistas que entrenar o compiten con el tiempo limitado para recuperarse, así como para deportistas recreativos, que se beneficiaran de una reducción de la fatiga residual, la cual le limitaría su participación en el ejercicio regular. Factores como la cantidad de CHO (1,2 g/Kg), tipo de CHO (mezcla de glucosa más fructosa), formato de ingesta de CHO (sólido-líquido), daño muscular (aumenta las necesidades), así como la ingesta de otros nutrientes pueden influenciar de forma positiva o negativa la resíntesis de glucógeno post ejercicio. Sin embargo, la introducción deliberada de sesiones de entrenamiento con baja disponibilidad de CHO, puede desencadenar la activación de vías de señalización que mejoren el metabolismo oxidativo del atleta y probablemente su rendimiento. Por tanto, el glucógeno ya no debe ser visto como un simple almacén de energía sino como una molécula, cuya manipulación de su disponibilidad, es capaz de desencadenar numerosos procesos celulares importantes para el deportista.

Referencias

- Alghannam, A., Gonzalez, J., & Betts, J. (2018). Restoration of Muscle Glycogen and Functional Capacity: Role of Post-Exercise Carbohydrate and Protein Co-Ingestion. *Nutrients*, 10(2), 253. <https://doi.org/10.3390/nu10020253>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. In *Nutrition and Football: The FIFA/FMARC Consensus on Sports Nutrition* (pp. 1–18). <https://doi.org/10.4324/9780203967430>
- Bartlett, J. D., Hawley, J. A., & Morton, J. P. (2015). Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? *European Journal of Sport Science*, 15(1), 3–12. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.920926>
- Beck, K. L., Thomson, J. S., Swift, R. J., & von Hurst, P. R. (2015). Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 259–67. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S33605>
- Beelen, M., Burke, L. M., Gibala, M. J., & Van Loon, L. J. C. (2010). Nutritional Strategies to Promote Postexercise Recovery. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 515–532. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.20.6.515>
- Beelen, M., Van Kranenburg, J., Senden, J. M., Kuipers, H., & Van Loon, L. J. C. (2012). Impact of caffeine and protein on postexercise muscle glycogen synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(4), 692–700. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31823a40ef>
- Burke, L. M., Collier, G. R., Broad, E. M., Davis, P. G., Martin, D. T., Sanigorski, A. J., & Hargreaves, M. (2003). Effect of alcohol intake on muscle glycogen storage after prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95(3), 983–990. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00115.2003>
- Burke, L. M., Collier, G. R., & Hargreaves, M. (1993). Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 75(2), 1019–23. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8226443>
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H. S., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29 Suppl 1(sup1), S17–27. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>
- Burke, L. M., & Mujika, I. (2014). Nutrition for Recovery in Aquatic Sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(4), 425–436. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0022>
- Burke, L. M., van Loon, L. J. C., & Hawley, J. A. (2017). Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1055–1067. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00860.2016>
- Close, G. L., Hamilton, D. L., Philp, A., Burke, L. M., & Morton, J.

- P. (2016). New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radical Biology and Medicine*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.01.016>
13. Delarue, J., Normand, S., Pachiaudi, C., Beylot, M., Lamisse, F., & Riou, J. P. (1993). The contribution of naturally labelled ^{13}C fructose to glucose appearance in humans. *Diabetologia*, 36(4), 338–345. <https://doi.org/10.1007/BF00400238>
 14. Domínguez, R., Mata-Ordoñez, F., & Sánchez-Oliver, A. J. (2017). *Nutrición Deportiva Aplicada: Guía para Optimizar el Rendimiento - Raúl Domínguez Herrera, Fernando Mata Ordoñez, Antonio Jesús Sánchez Oliver - Google Books*. (ICB Editores, Ed.). Malaga, España. Retrieved from https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=ChkwDwAAQB AJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=info:Sgp87ELWE5J:scholar.google.com&ots=O9vM0f0i1D&sig=1XrWeif5Ln9S_O4lBquqZHJvTcQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
 15. Evans, G. H., James, L. J., Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (2017). Optimizing the restoration and maintenance of fluid balance after exercise-induced dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), 945–951. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00745.2016>
 16. Fuchs, C. J., Gonzalez, J. T., Beelen, M., Cermak, N. M., Smith, F. E., Thelwall, P. E., ... van Loon, L. J. C. (2016). Sucrose ingestion after exhaustive exercise accelerates liver, but not muscle glycogen repletion compared with glucose ingestion in trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 120(11), 1328–1334. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01023.2015>
 17. Fullagar, H. H. K., Duffield, R., Skorski, S., Coutts, A. J., Julian, R., & Meyer, T. (2015). Sleep and recovery in team sport: Current sleep-related issues facing professional team-sport athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ij-spp.2014-0565>
 18. Goforth, H. W., Laurent, D., Prusaczyk, W. K., Schneider, K. E., Petersen, K. F., & Shulman, G. I. (2003). Effects of depletion exercise and light training on muscle glycogen supercompensation in men. *American Journal of Physiology - Endocrinology And Metabolism*, 285(6), E1304–E1311. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00209.2003>
 19. Gonzalez, J. T., Fuchs, C. J., Betts, J. A., & van Loon, L. J. C. (2017). Glucose plus fructose ingestion for post-exercise recovery—greater than the sum of its parts? *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu9040344>
 20. Gonzalez, J. T., Fuchs, C. J., Smith, F. E., Thelwall, P. E., Taylor, R., Stevenson, E. J., ... van Loon, L. J. C. (2015). Ingestion of glucose or sucrose prevents liver but not muscle glycogen depletion during prolonged endurance-type exercise in trained cyclists. *American Journal of Physiology - Endocrinology And Metabolism*, 309(12), E1032–E1039. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00376.2015>
 21. Goodyear, L. J., Hirshman, M. F., King, P. a, Horton, E. D., Thompson, C. M., & Horton, E. S. (1990). Skeletal muscle plasma membrane glucose transport and glucose transporters after exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 68(1), 193–198.
 22. Gunnarsson, T. P., Bendiksen, M., Bischoff, R., Christensen, P. M., Lesivig, B., Madsen, K., ... Bangsbo, J. (2013). Effect of whey protein- and carbohydrate-enriched diet on glycogen resynthesis during the first 48h after a soccer game. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(4), 508–515. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01418.x>
 23. Halson, S. L. (2014). Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Medicine*, 44(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0147-0>
 24. Hawley, J. A., Lundby, C., Cotter, J. D., & Burke, L. M. (2018). Maximizing Cellular Adaptation to Endurance Exercise in Skeletal Muscle. *Cell Metabolism*. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.04.014>
 25. Hearn, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu10030298>
 26. Heaton, L. E., Davis, J. K., Rawson, E. S., Nuccio, R. P., Witard, O. C., Stein, K. W., ... Baker, L. B. (2017). Selected In-Season Nutritional Strategies to Enhance Recovery for Team Sport Athletes: A Practical Overview. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0759-2>
 27. Horswill, C. A., Hickner, R. C., Scott, J. R., Costill, D. L., & Gould, D. (1990). Weight loss, dietary carbohydrate modifications, and high intensity, physical performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4), 470–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2402206>
 28. Howarth, K. R., Moreau, N. A., Phillips, S. M., & Gibala, M. J. (2009). Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1394–1402. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90333.2008>
 29. Impey, S. G., Hammond, K. M., Shepherd, S. O., Sharples, A. P., Stewart, C., Limb, M., ... Morton, J. P. (2016). Fuel for the work required: A practical approach to amalgamating train-low paradigms for endurance athletes. *Physiological Reports*, 4(10). <https://doi.org/10.14814/phy2.12803>
 30. Impey, S. G., Hearn, M. A., Hammond, K. M., Bartlett, J. D., Louis, J., Close, G. L., & Morton, J. P. (2018). Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sports Medicine*, 48(5), 1031–1048. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0867-7>
 31. Ivy, J. L., Katz, A. L., Cutler, C. L., Sherman, W. M., & Coyle, E. F. (1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 64(4).
 32. Jensen, L., Gejl, K. D., Ørtenblad, N., Nielsen, J. L., Bech, R. D., Nygaard, T., ... Frandsen, U. (2015). Carbohydrate restricted recovery from long term endurance exercise does not affect gene responses involved in mitochondrial biogenesis in highly trained athletes. *Physiological Reports*, 3(2). <https://doi.org/10.14814/phy2.12184>
 33. Jentjens, R., & Jeukendrup, A. E. (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00004>
 34. Jentjens, R. L., van Loon, L. J., Mann, C. H., Wagenmakers, a J., & Jeukendrup, a E. (2001). Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 91(2), 839–846. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.2.839>
 35. Jozsi, A. C., Trappe, T. A., Starling, R. D., Goodpaster, B., Trappe, S. W., Fink, W. J., & Costill, D. L. (1996). The influence of starch structure on glycogen resynthesis and subsequent cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*, 17(5), 373–378. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972863>
 36. Keizer, H. A., Kuipers, H., van Kranenburg, G., & Geurten, P. (1987). Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 8(2), 99–104. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025649>
 37. Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240–245. <https://doi.org/10.1123/ij-spp.2017-0759>
 38. Kiens, B., Raben, A. B., Valeur, A. K., & Richter, E. A. (1990). Benefit of dietary simple carbohydrates on the early postexercise muscle glycogen repletion in male athletes [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2 (suppl. 1)), S88. <https://doi.org/10.1249/00005768-199004000-00524>
 39. Knuijman, P., Hopman, M. T. E., & Mensink, M. (2015). Glycogen

- availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutrition and Metabolism*. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0055-9>
40. Koopman, R., Crombach, N., Gijsen, A. P., Walrand, S., Fauquant, J., Kies, A. K., ... Van Loon, L. J. C. (2009). Ingestion of a protein hydrolysate is accompanied by an accelerated in vivo digestion and absorption rate when compared with its intact protein. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(1), 106–115. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27474>
 41. Krstrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Marcello Iaia, F., ... Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the Wrst 72 h after a high-level competitive soccer game. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2987–2995. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1919-y>
 42. Mace, O. J., Schindler, M., & Patel, S. (2012). The regulation of K- and L-cell activity by GLUT2 and the calcium-sensing receptor CasR in rat small intestine. *Journal of Physiology*, 590(12), 2917–2936. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.223800>
 43. Mæhlum, S., Høstmark, A. T., & Hermansen, L. (1978). Synthesis of muscle glycogen during recovery after prolonged severe exercise in diabetic subjects. Effect of insulin deprivation. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 38(1), 35–39. <https://doi.org/10.3109/00365517809108400>
 44. Matsui, T., Soya, S., Okamoto, M., Ichitani, Y., Kawanaka, K., & Soya, H. (2011). Brain glycogen decreases during prolonged exercise. *Journal of Physiology*, 589(13), 3383–3393. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.203570>
 45. Maunder, E., Podlogar, T., & Wallis, G. A. (2017). Postexercise Fructose-Maltodextrin Ingestion Enhances Subsequent Endurance Capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001516>
 46. Morifuji, M., Ishizaka, M., Baba, S., Fukuda, K., Matsumoto, H., Koga, J., ... Higuchi, M. (2010). Comparison of different sources and degrees of hydrolysis of dietary protein: effect on plasma amino acids, dipeptides, and insulin responses in human subjects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(15), 8788–8797. <https://doi.org/10.1021/jf101912n>
 47. Murray, B., & Rosenbloom, C. (2018). Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. *Nutrition Reviews*, 76(4), 243–259. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy001>
 48. Nédélec, M., Halson, S., Abaidia, A.-E., Ahmaidi, S., & Dupont, G. (2015). Stress, Sleep and Recovery in Elite Soccer: A Critical Review of the Literature. *Sports Medicine*, 45(10), 1387–1400. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0358-z>
 49. Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: Part II-recovery strategies. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0002-0>
 50. Nieman, D. C., & Mitmesser, S. H. (2017). Potential impact of nutrition on immune system recovery from heavy exertion: A metabolomics perspective. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu9050513>
 51. Ortenblad, N., Nielsen, J., Saltin, B., & Holmberg, H.-C. (2011). Role of glycogen availability in sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ kinetics in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 589(Pt 3), 711–725. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.195982>
 52. Ortenblad, N., Westerblad, H., & Nielsen, J. (2013). Muscle glycogen stores and fatigue. *Journal of Physiology*. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.251629>
 53. Peake, J., Neubauer, O., Walsh, N. P., & Simpson, R. J. (2017). Immune system recovery after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122, 1077–1087. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00622.2016>
 54. Pedersen, D. J., Lessard, S. J., Coffey, V. G., Churchley, E. G., Wootton, A. M., Ng, T., ... Hawley, J. A. (2008). High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *Journal of Applied Physiology*, 105(1), 7–13. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01121.2007>
 55. Price, T. B., Perseghin, G., Duleba, a, Chen, W., Chase, J., Rothman, D. L., ... Shulman, G. I. (1996). NMR studies of muscle glycogen synthesis in insulin-resistant offspring of parents with non-insulin-dependent diabetes mellitus immediately after glycogen-depleting exercise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(11), 5329–34. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.11.5329>
 56. Price, T. B., Rothman, D. L., Taylor, R., Avison, M. J., Shulman, G. I., & Shulman, R. G. (1994). Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 76(1), 104–111.
 57. Ranchordas, M. K., Dawson, J. T., & Russell, M. (2017). Practical nutritional recovery strategies for elite soccer players when limited time separates repeated matches. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0193-8>
 58. Reitelsheder, S., Agergaard, J., Doessing, S., Helmark, I. C., Lund, P., Kristensen, N. B., ... Holm, L. (2011). Whey and casein labeled with L-[1-13C]leucine and muscle protein synthesis: effect of resistance exercise and protein ingestion. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 300(1), E231–E242. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00513.2010>
 59. Roberts, P. A., Fox, J., Peirce, N., Jones, S. W., Casey, A., & Greenhaff, P. L. (2016). Creatine ingestion augments dietary carbohydrate mediated muscle glycogen supercompensation during the initial 24 h of recovery following prolonged exhaustive exercise in humans. *Amino Acids*, 48(8), 1831–1842. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2252-x>
 60. Safdar, A., Yardley, N. J., Snow, R., Melov, S., & Tarnopolsky, M. A. (2008). Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiological Genomics*, 32(2), 219–228. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00157.2007>
 61. Sánchez Oliver, A. J. (2013). *Suplementación nutricional en la actividad físico-deportiva: análisis de la calidad del suplemento proteico consumido*. Granada: Editorial de la Universidad de Granada. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10481/26382>
 62. Silva, P., Lott, R., Wickrama, K. a S., Mota, J., & Welk, G. (2011). Effects of coffee components on muscle glycogen recovery: a systematic review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32, 1–44. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2015-0012>
 63. Simmons, E., McGrane, O., & Wedmore, I. (2015). Jet lag modification. *Current Sports Medicine Reports*, 14(2), 123–128. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000133>
 64. Terrados, N., Mielgo-Ayuso, J., Delextrat, A., Ostojic, S. M., & Calleja-Gonzalez, J. (2018). Dietetic- nutritional, physical and physiological recovery methods post-competition in team sports. A review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08169-0>
 65. Trommelen, J., Beelen, M., Pinckaers, P. J. M., Senden, J. M., Cermak, N. M., & Van Loon, L. J. C. (2016). Fructose coingestion does not accelerate postexercise muscle glycogen repletion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(5), 907–912. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000829>
 66. Tsai, T. W., Chang, C. C., Liao, S. F., Liao, Y. H., Hou, C. W., Tsao, J. P., & Cheng, I. S. (2017). Effect of green tea extract supplementation on glycogen replenishment in exercised human skeletal muscle. *British Journal of Nutrition*, 117(10), 1343–1350. <https://doi.org/10.1017/S0007114517001374>
 67. van Hall, G., Shirreffs, S. M., & Calbet, J. a. (2000). Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: no effect of additional protein ingestion. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 88(5), 1631–1636.

68. van Loon, L. J., Saris, W. H., Kruijshoop, M., & Wagenmakers, A. J. (2000). Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(1), 106–11. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10871568>