

Rendimiento deportivo: glucógeno muscular y consumo proteico

JOAQUÍN PÉREZ-GUISADO

Departamento de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.

RESUMEN

Para conseguir un óptimo rendimiento deportivo mediante el control de parámetros relacionados directa o indirectamente con la ingesta, puede resultar de gran importancia conocer y saber controlar el entramado metabólico relacionado con el glucógeno muscular y la optimización del consumo proteico.

La recuperación de las reservas de glucógeno tras la realización del ejercicio físico es un proceso lento que puede llevar de 24 a 48 h según las pérdidas producidas. La velocidad de resíntesis del glucógeno es máxima en las 2 primeras horas tras la realización del ejercicio físico. El proceso de resíntesis glucogénico podría acelerarse por la ingestión simultánea de hidratos de carbono-proteína o hidratos de carbono-aminoácidos, pudiendo ser una buena opción tomar nada más acabar el ejercicio físico una mezcla de sacarosa o azúcar de mesa (1 g/kg) con suero de leche (0,5 g/kg). Mediante la supercompensación del glucógeno o sobrecarga de hidratos de carbono se pretende conseguir aumentar las reservas de glucógeno por encima de los valores fisiológicos, de tal forma que el atleta tenga un extra energético que le pueda ayudar a mejorar su rendimiento deportivo. Esta ganancia va acompañada de agua que hace que aumente el volumen y vistosidad muscular, motivo por el cual se usa con frecuencia por los competidores de culturismo. Existen 3 técnicas de similar eficacia, la de Astrand, Sherman/Costill y Fairchild/Fournier siendo la última la más rápida y fácil de realizar.

El consumo de proteínas en el deportista es necesario pero no debería representar más del 15-20% del consumo calórico diario total, ya que cuando se sobrepasa este umbral la proteína pierde su efecto anabólico. Así, si el deportista tiene como objetivo aumentar la masa muscular, se debería aumentar el aporte calórico total de forma equilibrada y no el procedente únicamente de las proteínas.

PALABRAS CLAVE: Carga de hidratos de carbono. Índice glucémico. Masa muscular. Miostatina. Proteínas. Rendimiento deportivo. Reservas de glucógeno. Supercompensación glucogénica. Suplementación.

ABSTRACT

To achieve optimal athletic performance by controlling factors directly or indirectly associated with the intake, knowledge of how to control the metabolic processes associated with muscle glycogen and protein intake are highly important. Recovery of glycogen stores after exercise is a slow process, and complete recovery may take 24-48 h after exercise has ceased, depending on how much glycogen has been lost. The maximum rate of glycogen resynthesis occurs in the first 2 hours after the workout. The rate of muscle glycogen resynthesis could be accelerated through simultaneous intake of carbohydrate-proteins or carbohydrate-amino acids, effective combinations after the workout being sucrose or table sugar (1 g/kg) and whey protein (0.5 g/kg). Glycogen supercompensation or carbohydrate loading aims to raise glycogen storage above physiological levels to increase the duration of carbohydrate availability to exercising muscles, thus enhancing performance. The stored glycogen is accompanied by water, which increases muscle volume and definition, and consequently this strategy is frequently used by bodybuilding competitors. There are three supercompensation methods: the Astrand, Sherman/Costill and Fairchild/Fournier, they have the same effectiveness but the least option is the quickest and easier way.

Protein intake is essential for athletes but should account for no more than 15-20% of the daily calorie intake because protein loses its anabolic profile when consumed in quantities higher than this threshold. Thus, athletes aiming to acquire new muscle mass should increase total calorie intake by following a balanced diet and should not aim to increase calories from protein alone.

KEY WORDS: Carbohydrate loading. Glycemic index. Muscle mass. Myostatin. Proteins. Athletic performance. Glycogen stores. Glycogen supercompensation. Supplementation.

Correspondencia: Joaquín Pérez-Guisado. Avenida de América 33, bloque B, 3.º-3.ª. 14008 Córdoba. España. Correo electrónico: pv|peguj@uco.es

IMPORTANCIA DE TENER BUENAS RESERVAS DE GLUCÓGENO MUSCULAR

Conexión intensidad de entrenamiento-tipo de consumo energético

Un incremento en la intensidad del ejercicio llevará asociado un incremento en la participación de los hidratos de carbono como combustible energético^{1,2}. Si la duración del ejercicio continúa, será necesario movilizar las reservas de glucógeno para que de esta manera se mantengan los valores circulantes de glucosa, de tal forma que si éstos no se pueden mantener, la intensidad del ejercicio se verá reducida³. Como ya sabemos, las grasas participan en los ejercicios de tipo aeróbico pero no en los anaeróbicos, y éste es el motivo de que cuando se aumenta la intensidad del ejercicio, aumente la contribución de los hidratos de carbono y no la de la grasa^{4,5}. De hecho, para una intensidad de ejercicio del 50% de $VO_{2máx}$ dos tercios de la energía consumida es en forma de grasa, pero cuando ésta pasa al 75% de $VO_{2máx}$ los hidratos de carbono pasan a ser la principal fuente de energía, y la respuesta es similar tanto en varones como en mujeres⁶. Las proteínas también contribuyen como reserva energética tanto en situación de reposo como durante el ejercicio; sin embargo, en personas bien nutridas las proteínas probablemente representan menos del 5% en la contribución energética total^{7,8}, aunque este consumo pueda aumentar hasta un 12-15% cuando el ejercicio realizado es de larga duración⁹.

Tanto el ejercicio moderado de larga duración como el ejercicio intermitente de alta intensidad suponen una pérdida significativa en los depósitos de glucógeno muscular¹⁰⁻¹² debido a que el glucógeno muscular es una importante fuente energética en la ejecución deportiva^{11,13-15}.

Los depósitos de glucógeno muscular son limitados

Los depósitos de hidratos de carbono en el organismo son escasos si consideramos la cantidad total que se podría utilizar durante el ejercicio, ya que en ejercicios de intensidad realizados por deportistas entrenados se utilizan a una velocidad de 3-4 g/min, de tal forma que si el ejercicio se prolonga, a las 2 h habrá una depleción total en los valores de glucógeno. En ejercicios anaeróbicos de alta intensidad y corta duración la energía es suministrada exclusivamente por el fostato de creatina y los hidratos de carbono, de tal forma que como consecuencia de la glucólisis anaeróbica hay una gran producción del lactato. Como ejemplo se podría decir que un sprint de 30 s de duración es suficiente para producir un descenso en los valores de glucógeno de hasta el 32% de su valor inicial¹⁶. En muchos de-

portes se utilizan los sprints en los entrenamientos, por lo que debería tenerse en cuenta el gran descenso en el glucógeno muscular que éstos producen, y por este motivo quizás sea mejor realizarlos al final en vez de al principio del entrenamiento.

Como consecuencia del ejercicio no sólo se afecta el glucógeno muscular, sino que una buena parte del glucógeno hepático se moviliza¹⁷. Si tras la sesión de entrenamiento estas reservas energéticas no son suficientemente reemplazadas para la siguiente sesión, habrá una pérdida de rendimiento deportivo.

La recuperación de las reservas de glucógeno tras la realización del ejercicio físico es un proceso lento que puede llevar de 24 a 48 h, según las pérdidas producidas¹⁸. La velocidad de resíntesis de este glucógeno va a depender de la cantidad de hidratos de carbono aportados por la dieta, y es de unos 500-600 g/día o incluso más (para atletas más pesados) la cantidad necesaria para asegurar el restablecimiento de las reservas de glucógeno en períodos de gran intensidad de entrenamiento¹⁹.

CÓMO FAVORECER LA RECUPERACIÓN DEL GLUCÓGENO PERDIDO

Inmediatamente después del ejercicio se produce un aumento en la sensibilidad del músculo hacia la insulina y en la actividad de la glucógeno sintasa (enzima responsable en la síntesis del glucógeno)²⁰. Este especial estado explica que la velocidad de resíntesis del glucógeno sea máxima en las 2 primeras horas tras el ejercicio de larga duración²¹. Si el deportista necesita recuperarse rápidamente para una nueva sesión de entrenamiento, resultaría crucial el aprovechamiento de esta "ventana de la oportunidad".

A la hora de intentar determinar cuál es la forma más efectiva de favorecer la recuperación de los depósitos musculares de glucógeno tras la realización de un ejercicio, hay que tener en cuenta factores como los intervalos de tiempo entre la ingestión de los hidratos de carbono^{21,22}, el tipo de hidrato de carbono²³, la cantidad²⁴ y la frecuencia²⁵. Esto es de especial trascendencia, ya que disponer de buenos depósitos musculares de glucógeno puede suponer un retraso en la aparición de la fatiga^{15,26}. Como existen deportes en los que se realizan varias sesiones de entrenamiento al día, favorecer la recuperación del glucógeno entre sesiones resulta crucial a la hora de tener un óptimo rendimiento²⁷⁻²⁹.

Cantidad de hidratos de carbono que debemos ingerir

Al igual que el gasto de las reservas de glucógeno depende de la duración del ejercicio, su resíntesis depende de la canti-

dad de hidratos de carbono ingeridos, de tal forma que los valores máximos podrían alcanzarse con consumos del orden de 0,5-0,75 g/kg cada hora³⁰, aunque sería igual de efectivo realizar comidas menos frecuentes pero más abundantes, de tal forma que daría similares resultados comer 1 g/kg cada 2 h que 0,25 g/kg cada 30 min²⁵.

Otros autores recomiendan 1,5 g/kg de peso y cada 2 h durante 6 h, ya que de esta forma se consiguen mayores valores de glucógeno almacenado a las 6 h de haber acabado la sesión de entrenamiento que cuando el consumo se retrasa 2 h tras la finalización de dicha sesión^{21,24}.

Se ha comprobado que la mayor velocidad de resíntesis del glucógeno ocurre en individuos que son alimentados con cantidades de 0,4 g de hidratos de carbono por kilogramo de peso a intervalos de tiempo de cada 15 min durante un total de 4 h³⁰. Estos datos podrían ser de interés en deportistas que se ejercitan varias veces al día o en los que, a pesar de ejercitarse una sola vez al día, tienen sesiones de entrenamiento de larga duración e intensidad (como pudiera ser un tour de ciclismo), ya que se ha demostrado que en los deportistas que se alimentan bien y que tienen un descanso tras la sesión de entrenamiento de al menos 24 h, comer hidratos de carbono con la frecuencia descrita no supone una ventaja adicional²⁵.

Tipo de hidratos de carbono que debe ingerirse

El tipo de hidrato de carbono ingerido puede influir en la velocidad de síntesis del glucógeno, de tal forma que se ha comprobado que la glucosa y la sacarosa son igual de efectivas cuando se consumen en rangos del orden de 1,5 g/kg de peso cada 2 h, mientras que la fructosa es menos efectiva²³.

Los resultados parecen ser claros en cuanto al tipo de hidrato de carbono para emplear, ya que los que tiene alto índice glucémico, como la glucosa, la sacarosa y los almidones ricos en amilopectina, se transforman en glucógeno mucho más rápidamente que los hidratos de carbono con bajo índice glucémico, como la fructosa o los almidones ricos en amilosa^{20,31,32}. Esta diferencia en el índice glucémico entre amilosa-amilopectina se debe a las diferentes conformaciones estructurales que presentan y que hacen que la amilopectina sea atacada con mayor facilidad por las enzimas digestivas.

Se ha comprobado que la glucosa y la sacarosa son igual de efectivas cuando se consumen en rangos del orden de 1,5 g/kg de peso cada 2 h, mientras que la fructosa es menos efectiva²³.

Si lo que se consumen son alimentos y no suplementos, en las primeras 24 h tras la realización del ejercicio resultan de elección los que tienen un mayor índice glucémico³³ y carga

glucémica, como pudiera ser la patata cocida, el arroz, la pasta, etc. La presencia de proteína y grasa en el alimento ingerido tras la sesión de entrenamiento no influye negativamente en la resíntesis del glucógeno, tanto en deportes de tipo aeróbico³⁴ como anaeróbico³⁵. Si a esto le añadimos que la presencia de proteínas aporta los aminoácidos necesarios que el músculo necesita para repararse y promover un perfil anabólico³⁶, su consumo estará muy indicado.

Efecto sinérgico de la combinación hidratos de carbono-proteína

Últimamente se está cambiando la antigua tendencia de consumir exclusivamente hidratos de carbono tras el entrenamiento, por una más innovadora que aconseja el consumo simultáneo tanto de hidratos de carbono como de proteína^{28,37-44}.

Todos sabemos que los hidratos de carbono son capaces de estimular la producción de insulina, pero esto no es exclusivo de los hidratos de carbono, ya que tanto los aminoácidos como las proteínas ingeridas son capaces también de estimular la producción de insulina⁴⁵. Éste es el motivo por el que cuando se consumen de forma simultánea con los hidratos de carbono, algunos aminoácidos son capaces de ejercer un efecto sinérgico hiperinsulinémico^{46,47}. La insulina es imprescindible en la formación del glucógeno muscular y en la síntesis proteica, motivo por el cual se había sugerido que el proceso de resíntesis glucogénica podría acelerarse con la ingestión simultánea de hidratos de carbono-proteína o hidratos de carbono-aminoácidos^{38,48}.

Como consecuencia del ejercicio, los microtraumas musculares son frecuentes y el problema que éstos tienen es que pueden interferir negativamente en la acción anabólica de la insulina, dificultando la resíntesis del glucógeno muscular⁴⁹. Para amortiguar este efecto negativo el aminoácido leucina podría ser de interés, ya que se ha comprobado que es capaz de estimular la señal que ejerce la insulina sobre las células^{50,51}, además de poder utilizarse como fuente de energía en la célula muscular⁵². Como vemos, aquí hay otro argumento a favor de la combinación de proteínas o aminoácidos e hidratos de carbono tras la realización del ejercicio físico.

Teniendo en cuenta lo anterior, parece ser que la mejor opción sería tomar nada más entrenar un batido con hidratos de carbono-proteína si lo comparamos con un batido isoenergético de hidratos de carbono^{38,53}, ya que la resíntesis de glucógeno podría alcanzar un incremento de hasta el 40%. Sin embargo, hay estudios que afirman que no hay diferencias significativas entre la ingestión isoenergética de hidratos de carbono-proteína

o sólo hidratos de carbono^{37,39,40,42}. Esta diferencia de opiniones podría deberse al hecho de que los estudios mencionados se caracterizan por haberse realizado en situaciones de déficit intenso de glucógeno, hecho que no se produjo en los estudios que demuestran la superioridad de la mezcla hidratos de carbono-proteínas y que, por tanto, merecen una mayor fiabilidad. La explicación reside en que se ha comprobado que cuando existe un déficit intenso de glucógeno la velocidad de síntesis de éste se dispara^{15,54-56}, y es capaz de producirse incluso en ausencia de insulina⁵⁷. Las implicaciones deportivas que pudiera tener estas afirmaciones dependen mucho del grado de intensidad del ejercicio, de tal forma que si se trata de ejercicios que no superan el umbral anaeróbico VO_2 (a partir del 70-80% $VO_{2máx}$), habrá una utilización energética fundamentada en la grasa y, por tanto, la pérdida de glucógeno será menor. Esto viene corroborado por diferentes estudios; así, a un 70% de $VO_{2máx}$ no se detectaron diferencias significativas en cuanto a rendimiento pero sí en la velocidad de síntesis del glucógeno⁵³, mientras que a un 85% de $VO_{2máx}$ sí se comprobó que existían diferencias significativas de rendimiento a favor del grupo que ingirió hidratos de carbono-proteína¹⁵.

Si a lo anterior le sumamos que incluso empleando el mismo número de calorías las proteínas son más efectivas que los hidratos de carbono a la hora de favorecer las ganancias de masa muscular y de fuerza^{58,59}, tanto cuando se utilizan antes como después del entrenamiento⁶⁰, recomendaría la ingestión de ambos nutrientes en la ingesta que se produce inmediatamente tras la sesión deportiva y en una proporción aproximada de 1 g/kg de peso para los hidratos de carbono y 0,5 g/kg de peso para la proteína. Una buena combinación sería mezclar sacarosa o azúcar de mesa con una proteína de rápida absorción y calidad biológica, como el suero de leche.

Momento y frecuencia ideal de la ingestión

En cuanto al momento ideal para ingerir los hidratos de carbono tras el entrenamiento, lo ideal es cuanto antes mejor; han de consumirse al menos de 1-2 g/kg de peso (un total que iría de 50 a 100 g) en la primera hora tras el entrenamiento o actividad física, continuando con una comida rica en hidratos de carbono después^{19,21}.

Sobre la frecuencia de ingestión, si es preferible hacer comidas más frecuentes pero en menor cantidad o comidas menos frecuentes pero en mayor cantidad, parece ser que ambas estrategias son igual de efectivas a la hora de favorecer la recuperación del glucógeno^{25,61}. Teniendo en cuenta esto, cuando el atleta no va entrenar ni va a poder comer durante un largo

período de tiempo, como es el caso del sueño nocturno, sería lógico recomendar una comida más abundante.

A la hora de realizar ingestiones de hidratos de carbono frecuentes y de bajo volumen, resulta fácil a la vez que agradable al paladar utilizar alimentos ricos en azúcares como dulces, zumos, bebidas azucaradas, bebidas energéticas para el deporte, o incluso usar directamente azúcar, mermelada o miel⁶².

Carga de hidratos de carbono, supercompensación o sobrecarga de glucógeno

Mediante esta carga lo que se pretende es conseguir aumentar las reservas de glucógeno por encima de los valores normales o fisiológicos, de tal forma que el atleta tenga un extra energético que le pueda ayudar a mejorar su rendimiento deportivo. Está especialmente indicada en competiciones deportivas que tienen una duración de al menos 1,5-2 h⁶³. Este método también es utilizado por culturistas debido a que favorece un aumento del volumen muscular, ya que el almacén de glucógeno va acompañado de agua; concretamente se estima que cada gramo de glucógeno almacenado se acompaña de 3-4 g de agua⁶⁴. Si tenemos en cuenta que la capacidad del organismo de almacenar glucógeno es del orden de 6-7 g/kg de peso, en un culturista de 100 kg de peso esto le supondría una ganancia de volumen muscular de hasta 3,5 kg (700 g de glucógeno + 2.800 g de agua). Esto justificaría la utilización de la supercompensación por los competidores de culturismo, con el objetivo de conseguir un mayor volumen muscular, y vistosidad. El principal inconveniente que podría tener esta práctica es la aparición de una mayor congestión o pesadez muscular, que podría favorecer en ciertos atletas la aparición de contracturas, calambres o incluso roturas fibrilares, motivo por el cual recomendaría que se probase mucho antes del día de la competición para comprobar que el atleta no resulta negativamente afectado.

Tradicionalmente se conocen 2 técnicas de supercompensación o carga de hidratos de carbono: la de Astrand y la de Sherman/Costill. Ambas ofrecen resultados similares^{63,65-69}, pero difieren en la metodología. La más innovadora y última en aparecer es la carga en 24 h o técnica de Fairchild/Fournier⁷⁰. Recientemente, también se ha descubierto que la utilización de cafeína (8mg/kg) tiene un efecto aditivo en la síntesis de glucógeno cuando acompaña a la ingesta de hidratos de carbono⁷¹, aunque no hay estudios que demuestren su eficacia y pauta si acompaña a técnicas de supercompensación.

Si bien es necesario comenzar la actividad deportiva con unos buenos niveles de glucógeno muscular, ya que lo contrario se opone a los mecanismos genéticos implicados en el pro-

ceso de hipertrofia muscular⁷², no sería aconsejable realizar este tipo de técnicas con frecuencia, ya que se ha comprobado que los mecanismos responsables de la supercompensación del glucógeno se van atenuando si se realizan de forma repetida en el tiempo⁷³, por lo que sería recomendable dejarlas para días claves como las competiciones.

Técnica de Astrand

Se inicia una semana antes del acontecimiento deportivo y consiste en entrenar con intensidad e ingerir una dieta muy baja en hidratos de carbono (0-10% de la contribución energética total) durante 3 días, seguida de otros 3 días en los se realizaría una dieta muy alta en hidratos de carbono (80-90%) acompañada de nada de entrenamiento o un entrenamiento muy ligero. Por lo tanto, se realiza una depleción del glucógeno muscular gracias al ejercicio y la dieta baja en hidratos de carbono, seguida de una supercompensación⁷⁴⁻⁷⁶. Desde un punto de vista fisiológico, este método persigue hiperestimular a la glucógeno sintasa, ya que la actividad de ésta es mayor cuanto más bajos son los valores de glucógeno, de tal forma que cuando éstos aumentan la enzima se va haciendo cada vez más resistente a la acción de la insulina⁷⁷.

Técnica de Sherman/Costill

Esta técnica se caracteriza por ser menos radical que la anterior y, por tanto, más fácil de llevar a cabo, aunque los resultados de rendimiento deportivo que se obtienen son similares a los debidos a la de Astrand. Se inicia, al igual que la anterior, la semana antes del acontecimiento deportivo. Consiste en seguir durante todo el proceso una dieta alta en hidratos de carbono, en torno al 60-70% de las calorías diarias totales, mientras que las sesiones de entrenamiento van bajando de duración progresivamente, concretamente cada 2 días se van reduciendo a la mitad, de tal forma que el día antes del acontecimiento no haya entrenamiento. Tiene la ventaja de poseer menos efectos secundarios (derivados de la falta de consumo de hidratos de carbono) y ser menos radical que la anterior y, por tanto, más fácil de llevarse a cabo, a pesar de que los resultados de rendimiento deportivo que se obtienen son similares a los de la de Astrand^{63,65-69}.

Técnica de carga en 24 h o de Fairchild/Fournier

Es la de más reciente aparición, ofreciendo como principales ventajas su rapidez y fácil ejecución, permitiendo alcan-

zar los niveles máximos de glucógeno muscular en tan sólo 24 h. La única desventaja es que sólo se ha realizado en ciclistas. El procedimiento se basa en ejecutar un calentamiento de aproximadamente cinco min seguido de una sesión de alta intensidad de unos tres min de duración, con el fin de agotar las reservas de glucógeno muscular de las piernas. Inmediatamente después de la sesión deportiva comienza la carga de hidratos de carbono que consistirá en no realizar ejercicio alguno y tomar durante las 24 h siguientes una media de 10,3 g de hidratos de carbono de alto índice glucémico (pasta, pan, arroz, patatas, bebidas con maltodextrina, etc.) por kg de peso (12,2 g si es por kg de masa libre de grasa), por lo que la ingesta calórica total procedente de los hidratos de carbono representará más del 90%⁷⁰. Esta técnica se realizó con ciclistas, motivo por el cual lo más probable es que en deportes en los que interesa agotar diferentes grupos musculares, sea aconsejable realizar sesiones de alta intensidad de tres min de duración (de forma continua o intermitente ya sea en dos sesiones de 1,5 min o tres sesiones de un min, según lo permita el grupo muscular implicado), por grupo muscular que queramos agotar. En este caso, la cantidad necesaria de hidratos de carbono a ingerir podría ser mayor a la reportada en el estudio.

LA PROTEÍNA ES NECESARIA, PERO SU EXCESO NO SUPONE UNA VENTAJA AÑADIDA

El consumo proteico es necesario

En el período de recuperación tras el ejercicio, resulta prioritario para el organismo no sólo acelerar la recuperación del glucógeno perdido, sino también recuperar la pérdida intramuscular de aminoácidos y, por tanto, de proteína que ha tenido lugar, pues se ha comprobado que tras el ejercicio físico decrece la concentración intramuscular de aminoácidos⁷⁸, pues el ejercicio es un proceso catabólico a todos los niveles (hidratos de carbono, proteínas y grasas) que se acompaña de una fase anabólica de recuperación. La ingestión de aminoácidos o proteínas inmediatamente después del ejercicio puede prevenir esta pérdida de aminoácidos y favorecer la síntesis proteica⁷⁹. Los mecanismos que sugieren que los atletas deben de tener un mayor consumo proteico son la necesidad de reparar el daño tisular de las fibras musculares asociado al ejercicio, el hecho de que durante el ejercicio se consumen proteínas como combustible energético y la necesidad de aumentar el consumo proteico para mantener las ganancias conseguidas en el desarrollo muscular^{80,81}.

Lo importante es un consumo energético suficiente y una alimentación equilibrada

A pesar de que los deportistas tienen mayores requerimientos proteicos que la población general, la mayor parte de los atletas que tienen un aporte energético adecuado cubren óptimamente sus necesidades proteicas⁸²⁻⁸⁴.

Esto viene confirmado por el hecho de que aumentar la ingesta proteica por encima del valor recomendable no favorece el crecimiento muscular^{82,83}. Las recomendaciones diarias de proteína para la población general, de unos 0,8 g/kg de peso y día, no son suficientes para mantener un balance nitrogenado positivo en deportistas, ya que éstas son de unos 1,2 g/kg en deportistas de fuerza⁸⁵ y de 1,2 g/kg⁸⁶ e incluso 1,2-1,4^{52,87} o 1,4-1,5⁸⁸ en deportistas de tipo cardiovascular. Otros autores apuntan más alto y sitúan este valor en deportistas en torno a 1,35 g/kg⁷⁹ o incluso en 1,7-1,8 g/kg⁷⁸. También hay autores que afirman que en los atletas que tienen como objetivo el desarrollo muscular y de la fuerza, como son los culturistas y los atletas de fuerza, el consumo proteico en torno a 1,6-1,7 g/kg de peso y día es suficiente para favorecer la acumulación y el mantenimiento de la masa muscular ganada^{52,81,82,87}.

En los requerimientos proteicos diarios es muy importante conocer la ingesta calórica total del deportista, ya que cuando existe un balance energético negativo que no compensa el gasto calórico diario del deportista, las necesidades proteicas se hacen aún mayores^{52,76}. Por el contrario, cuando la ingesta calórica es alta, las necesidades proteicas se hacen menores, ya que el cuerpo saca un mayor rendimiento de las proteínas mediante un incremento en la adición de nitrógeno muscular⁸⁵.

La mayoría de los estudios sobre las ingestas alimentarias en atletas⁸⁶⁻⁸⁸ demuestran que los atletas que siguen una alimentación variada y equilibrada alcanzan unos niveles de ingesta proteica en torno a 1,5 g/kg, lo cual sería suficiente para alcanzar ese balance nitrogenado positivo sin la necesidad de ingerir suplementos proteicos.

Estas necesidades proteicas podrían estar aumentadas en situaciones especialmente catabólicas, como son las dietas restrictivas hipocalóricas, ya que en estas situaciones aumentan las necesidades de proteína y además el atleta suele consumir menos proteína que antes, con lo que el balance neto se hace negativo. En estas situaciones sí podría resultar de utilidad la suplementación con proteína, ya que se produciría un efecto anticatabólico con aumento en la retención de nitrógeno⁹³.

En la literatura científica no existen trabajos que demuestren que un alto consumo de proteínas pueda ejercer un efecto negativo a largo plazo en personas con un buen estado de salud.

Por el contrario, existen trabajos que demuestran la seguridad de una dieta alta en proteínas^{94,95}. Si consideramos que un déficit proteico puede ser muy pernicioso para el rendimiento del deportista, si éste sobrepasa las necesidades diarias recomendadas será menos malo que si no llega; por ello, la suplementación con proteínas, que es una práctica frecuente entre los deportistas, si bien la mayoría de las veces no sirve para nada, a algunos atletas que no se nutren bien podría salvarlos de los efectos negativos derivados de una insuficiente ingestión proteica.

Obsesionarse con un consumo alto de proteínas no aporta ventajas al rendimiento y aumenta el gasto económico del deportista

La obsesión por ingerir altas cantidades de proteínas suele ser típica entre atletas que tienen como objetivo la fuerza y la ganancia muscular y que se centran fundamentalmente en el entrenamiento con pesas. Es cierto que se ha comprobado que el entrenamiento con pesas provoca profundos cambios en la concentración de aminoácidos y en la síntesis proteica⁹⁶⁻⁹⁸ y que por tanto influye de manera decisiva en el proceso de hipertrofia⁹⁹. El entrenamiento de fuerza o con pesas se asocia a un incremento en la síntesis proteica que se produce tras la sesión de entrenamiento^{97,98,100}. Concretamente se ha comprobado que una sesión de entrenamiento con pesas en sujetos entrenados provoca dentro de las cuatro primeras horas postentrenamiento un rápido incremento de la síntesis proteica y que éste se mantiene pasadas entre 24-36 h⁹⁶. Hay estudios que van más lejos y que demuestran que en sujetos no entrenados el incremento en la síntesis proteica se mantiene significativamente aumentado hasta un 34% después de 48 h tras la sesión de entrenamiento⁹⁷. Parece ser que el proceso de hipertrofia y de incremento de fuerza se debe a cambios que se producen en la actina y la miosina muscular y que son resultado final del entrenamiento de fuerza^{101,102}. Como consecuencia del entrenamiento de fuerza, se produce un catabolismo muscular que dura hasta 3 h pasado el entrenamiento^{96,97,103}. Si bien hay estudios que demuestran que la concentración de aminoácidos extracelular es el elemento primario necesario en la estimulación de la síntesis proteica^{104,105}, también se ha comprobado que una vez que el músculo tiene una disponibilidad suficiente en aminoácidos, llega un momento en el que éstos pierden la capacidad de estimular la síntesis proteica¹⁰⁶. El motivo por el cual llega un momento en el que la proteína pierde su poder para formar más masa muscular se debe a que existe un límite para la asimilación de la proteína y la incorporación al tejido muscular⁸⁰, de tal forma que el exceso consumido se utilizará

para otros fines, como son la obtención de energía y la acumulación de grasa.

Se ha demostrado que la principal causa que limita que un aporte extra de proteínas pueda ser utilizado para formar más masa muscular está conectada con una mayor producción de miostatina. La miostatina (GDF8) es un factor inhibidor del crecimiento muscular que es producido por las propias células del músculo esquelético, circula en sangre y actúa en el tejido muscular limitando su crecimiento. Se ha comprobado en ratas que, cuando éstas son alimentadas con dietas que tienen más de un 15% de proteínas, ya no se produce un aumento significativo en la ganancia de masa muscular debido a que este consumo excesivo de proteínas estimula una mayor producción de miostatina que bloqueará el proceso de hipertrofia muscular¹⁰⁷. Teniendo en cuenta estos datos, el consumo de proteínas en el deportista no debería representar más del 15-20% del consumo calórico diario total, de tal forma que si el deportista tiene como objetivo aumentar la masa muscular, debería aumentar el aporte calórico total de forma equilibrada y no el procedente únicamente de las proteínas, ya que la síntesis proteica es un proceso muy costoso. Póngase como ejemplo que con una dieta (15% de proteína, 45% de hidratos de carbono y 40% de grasa) que supone un incremento diario del aporte energético de 900-1.800 kcal durante 3 semanas se puede tener una ganancia media de masa muscular de unos 1,67 kg¹⁰⁸.

Considerando todo lo anterior, puede afirmarse que es un error extendido entre muchos deportistas pensar que un mayor

consumo de proteína se asocia con una mayor ganancia muscular, ya que la mayoría de los atletas consumen más que suficiente proteína mediante sus dietas habituales cuando el aporte energético es suficiente, incluso para satisfacer las mayores demandas asociadas al ejercicio¹⁰⁹, por lo que esta práctica servirá principalmente para aumentar el gasto económico del deportista y enriquecer el bolsillo del cada vez más numeroso grupo de la industria de la suplementación.

CONCLUSIONES

– La velocidad de resíntesis del glucógeno es máxima en las 2 primeras horas tras la realización del ejercicio físico y puede durar un total de 24-48 h, según la duración e intensidad del ejercicio realizado.

– La ingestión simultánea de hidratos de carbono-proteína acelera la resíntesis del glucógeno muscular; una buena opción es, nada más acabar la realización del ejercicio físico, tomar una mezcla de sacarosa o azúcar de mesa (1 g/kg) con suero de leche (0,5 g/kg).

– La supercompensación o sobrecarga de hidratos de carbono sirve para aumentar las reservas de glucógeno por encima de los valores normales; hay 3 métodos: Astrand, Sherman/Costill y Fairdild/Fournier.

– Para aumentar la masa muscular se debería aumentar el aporte calórico total de forma equilibrada y no el procedente únicamente de las proteínas, ya que éstas pierden su efecto anabólico cuando sobrepasan el 15-20% a la contribución energética total.

Bibliografía

1. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise. The cross over concept. *J Appl Physiol.* 1994;76:2253-61.
2. Brooks GA, Trimmer J. Literature supports the cross over concept. *J Appl Physiol.* 1995;80:1073-5.
3. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol.* 1986;61:165-72.
4. Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci.* 1991;9:29-52.
5. Bergman BC, Butterfield GE, Wolfel EE, Casazza GA, Lopaschuk GD, Brooks GA. Evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. *Am J Physiol.* 1999;276:E106-17.
6. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt, Wolfe RR. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol.* 2000;88:1707-14.
7. El-Khoury AE, Forslund A, Olsson R, Branth S, Sjodin A, Anderson A, et al. Moderate exercise at energy balance does not affect 24-h leucine oxidation or nitrogen retention in healthy men. *Am J Physiol.* 1997;273:E394-E407.
8. Phillips SM, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Macdougall JD. Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes. *J Appl Physiol.* 1983;75:2134-41.
9. Lemon PWR. Effect of exercise on protein requirements. *J Sports Sci.* 1991;9:53-70.
10. Delmas-Beauvieux MC, Quesson B, Thiaudiere E, Gallis JL, Canioni P, Gin H. ¹³C nuclear magnetic resonance study of glycogen resynthesis in muscle after glycogen-depleting exercise in healthy men receiving an infusion of lipid emulsion. *Diabetes.* 1999;48:327-33.
11. Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand.* 1967;71:129-39.

12. Lambert CP, Flynn MG. Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med.* 2002;32:511-22.
13. Hawley JA, Schabert EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 1997;24:73-81.
14. Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol.* 2001;536:295-304.
15. Widrick JJ, Costill DL, Fink WJ, Hickey MS, Mcconell GK, Tanaka H. Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. *J Appl Physiol.* 1993;74:2998-3005.
16. Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol.* 1989;67:2376-82.
17. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* 1993;265:E380-91.
18. Piehl K. Time-course for refilling of glycogen stores in human muscle fibers following exercise-induced glycogen depletion. *Acta Physiol Scand.* 1974;90:297-302.
19. Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci.* 1991;9:29-52.
20. Ivy JL. Optimization of glycogen stores. En: Maughan RJ, editor. *Nutrition in sport.* Oxford: Blackwell Science; 2000. p. 97-111, 126-31.
21. Ivy JL, Katz AI, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol.* 1988;64:1480-5.
22. Parkin JA, Carey MF, Martin IK, Sojanovska I, Febbraio MA. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:220-4.
23. Blom PC, Hostmark AT, Vaage O, Kardel KR, Maehlum S. Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:491-6.
24. Ivy JL, Lee MC, Brozinick JT, Reed MJ. Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol.* 1988;65:2018-23.
25. Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:115-9.
26. Hawley JA, Schabert EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 1987;24:73-81.
27. Fallowfield JL, Williams C, Singh R. The influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage during 4 hours of recovery on subsequent endurance capacity. *Int J Sport Nutr.* 1995;5:285-99.
28. Williams MB, Raven PB, Fogt DI, Ivy JL. Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2003;17:12-19.
29. American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:706-17.
30. Doyle AJ, Sherman WM, Strauss RL. Effects of eccentric and concentric exercise on muscle glycogen replenishment. *J Appl Physiol.* 1993;74:1848-55.
31. Butterfield GE, Gates J, Fleming S, Brooks GA, Sutton JR, Reeves JT. Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J Appl Physiol.* 1992;72:1741-8.
32. Calders P, Matthys D, Derave W, Pannier J-L. Effect of branched-chain amino acids (BCAA), glucose, and glucose plus BCAA on endurance performance in rats. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:583-7.
33. Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: Effect of the glycemic index of carbohydrate feeding. *J Appl Physiol.* 1993;75:1019-23.
34. Burke LM, Collier GR, Beasley SK, Davis PG, Fricker PA, Heeley P, et al. Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *J Appl Physiol.* 1995;78:2187-92.
35. Roy BD, Tarnopolsky MA. Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1998;84:890-6.
36. Roy BD, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Fowles J, Yarasheski KE. Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. *J Appl Physiol.* 1997;82:1882-8.
37. Carrithers JA, Williamson DL, Gallagher PM, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW. Effects of post exercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration. *J Appl Physiol.* 2000;88:1976-82.
38. Ivy JL, Goforth HW, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB. Early post exercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol.* 2002;93:1337-44.
39. Jentjens RL, Van Loon LJ, Mann CH, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE. Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance post exercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol.* 2001;91:839-46.
40. Tarnopolsky MA, Bosman M, Macdonald JR, Vandeputte D, Martin J, Roy BD. Post exercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol.* 1997;83:1877-83.

41. Van Hall G, Shirreffs SM, Calbet JA. Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: no effect of additional protein ingestion. *J Appl Physiol.* 2000;88:1631-6.
42. Van Loon LJ, Saris WH, Kruijshoop M, Wagenmakers AJ. Maximizing post exercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:106-11.
43. Yaspelkis III BB, Ivy JL. The effect of a carbohydrate-arginine supplement on post exercise carbohydrate metabolism. *Int J Sport Nutr.* 1999;9:241-50.
44. Zawadzki KM, Yaspelkis III BB, Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol.* 1992;72:1854-9.
45. Floyd JC, Fajans SS, Conn JW, Knopf RF, Rull J. Insulin secretion in response to protein ingestion. *J Clin Invest.* 1966;45:1479-86.
46. Van Loon LJ, Kruijshoop M, Verhagen H, Saris WH, Wagenmakers AJ. Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases post exercise plasma insulin responses in men. *J Nutr.* 2000;130:2508-13.
47. Van Loon LJ, Saris WH, Verhagen H, Wagenmakers AJ. Plasma insulin responses after ingestion of different amino acid or protein mixtures with carbohydrate. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:96-105.
48. Jentjens R, Jeukendrup AE. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* 2003;33:117-44.
49. Del Aguila LF, Krishnan RK, Ulbrecht JS, Farrell PA, Correll PH, Lang CH, et al. Muscle damage impairs insulin stimulation of IRS-1, PI 3-kinase, and Aktkinase in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;279:E206-12.
50. Layman DK. Role of leucine in protein metabolism during exercise and recovery. *Can J Appl Physiol.* 2002;27:646-63.
51. Meijer AJ. Amino acids as regulators and components of non-proteinogenic pathways. *J Nutr.* 2003;133:2057S-62S.
52. Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition.* 2004;20:662-8.
53. Berardi JM, Price TB, Noreen EE, Lemon PW. Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1106-13.
54. Bergstrom J, Hultman E, Roch-Norlund AE. Muscle glycogen synthetase in normal subjects. Basal values, effect of glycogen depletion by exercise and of a carbohydrate rich diet following exercise. *Scand J Clin Lab Invest.* 1972;29:1106-13.
55. Fournier PA, Brau L, Ferreira LD, Fairchild T, Raja G, James A, et al. Glycogen resynthesis in the absence of food ingestion during recovery from moderate or high intensity physical activity: novel insights from rat and human studies. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2002;133:755-63.
56. Zachwieja JJ, Costill DL, Pascoe DD, Robergs RA, Fink WJ. Influence of muscle glycogen depletion on the rate of resynthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:44-8.
57. Price TB, Rothman DL, Shulman RG. NMR of glycogen in exercise. *Proc Nutr Soc.* 1999;58:851-9.
58. Andersen LL, Tufekovic G, Zebis MK, Cramer R, Verlaan G, Kjaer M, et al. The effect of resistance training and combined with timed ingestion of protein muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism.* 2005;54:151-6.
59. Kerksick CM, Rasmussen CJ, Lancaster SL, Magu B, Smith P, Melton C, et al. The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res.* 2006;20:643-53.
60. Willoughby DS, Stout JR, Wilborn CD. Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength. *Amino Acids.* 2007;32:466-77.
61. Costill DL, Sherman WM, Fink WJ, Maresh C, Witten M, Miller JM. The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen synthesis after strenuous running. *Am J Clin Nutr.* 1981;34:1831-36.
62. Clark K. Nutritional guidance for soccer players for training and competition. *J Sports Sci.* 1994;12:S43-50.
63. Costill DL, Hargreaves M. Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Med.* 1992;13:86-92.
64. Kreitzman SN, Coxon AY, Szaz KF. Glycogen storage: illusions of easy weight loss, excessive weight regain, and distortions in estimates of body composition. *Am J Clin Nutr.* 1992;56:292S-3S.
65. Valeriani A. The need for carbohydrate intake during endurance exercise. *Sports Med.* 1991;12:349-58.
66. Friedman JE, Neuffer PD, Dohm GL. Regulation of glycogen resynthesis following exercise. Dietary considerations. *Sports Med.* 1991;11:232-43.
67. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int J Sports Med.* 1981;2:114-8.
68. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. Carbohydrate loading: a practical approach. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13:90.
69. Sherman WM, Costill DL. The marathon: dietary manipulation to optimize performance. *Am J Sports Med.* 1984;12:44-51.
70. Fairchild TJ, Fletcher S, Steele P, Goodman C, Dawson B, Fournier PA. Rapid carbohydrate loading after a short bout of near maximal-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:980-6.
71. Pedersen DJ, Lessard SJ, Coffey VG, Churchley EG, Wootton AM, Ng T, et al. High rates of muscle glycogen resynthesis af-

- ter exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *J Appl Physiol* 2008;105: 7-13.
72. Churchley EG, Coffey VG, Pedersen DJ, Shield A, Carey KA, Cameron-Smith D, et al. Influence of preexercise muscle glycogen content on transcriptional activity of metabolic and myogenic genes in well-trained humans. *J Appl Physiol* 2007;102: 1604-11.
 73. McInerney P, Lessard SJ, Burke LM, Coffey VG, Lo Giudice SL, Southgate RJ, et al. Failure to repeatedly supercompensate muscle glycogen stores in highly trained men. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:404-11.
 74. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967; 71:140-50.
 75. Bergstrom J, Hultman E. Muscle glycogen synthesis after exercise: an enhancing factor localized to the muscle cells in man. *Nature.* 1966;210:309-10.
 76. Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand.* 1967;71:129-39.
 77. Jensen J, Jebens E, Brennesvik EO, Ruzzin J, Soos MA, Engbretsen EML, et al. Muscle glycogen inharmoniously regulates glycogen synthase activity, glucose uptake, and proximal insulin signaling. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2006;290:E154-62.
 78. Tipton KD, Wolfe RR. Exercise, protein metabolism and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2001;11:109-32.
 79. Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol.* 1997;273:E122-9.
 80. Butterfield GE. Whole-body protein utilization in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:S157-65.
 81. Lemon PWR. Effects of exercise on dietary protein requirements. *Int J Sport Nutr.* 1998;8:426-47.
 82. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, et al. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol.* 1992;73:1986-95.
 83. Lemon PW, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, et al. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol.* 1992;73: 767-75.
 84. Kreider RB, Miriel V, Bertun E. Amino acid supplementation and exercise performance: proposed ergogenic value. *Sports Med.* 1993;16:190-209.
 85. Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Atkinson SA. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol.* 1988;64:187-93.
 86. Meredith CN, Zackin MJ, Frontera WR, Evans WJ. Dietary protein requirements and body protein metabolism in endurance-trained men. *J Appl Physiol.* 1989;66:2850-6.
 87. Fielding RA, Parkington J. What are the dietary protein requirements of physically active individuals? New evidence on the effects of exercise on protein utilization during post-exercise recovery. *Nutr Clin Care.* 2002;5:191-6.
 88. Friedman JE, Lemon PWR. Effects of chronic endurance exercise on retention of dietary protein. *Int J Sports Med.* 1989;10: 118-23.
 89. Chiang AN, Huang PC. Excess energy and nitrogen balance at protein intakes above the requirement level in young men. *Am J Clin Nutr.* 1988;48:1015-22.
 90. Short SH, Short WS. Four-year study of university athletes' dietary intake. *J Am Diet Assoc.* 1983;82:632-45.
 91. van Erp-Baart AM, Saris WH, Binkhorst RA, Vos JA, Elvers JW. Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part I: energy, carbohydrate, protein, and fat intake. *Int J Sports Med.* 1989;10:S3-10.
 92. Fogelholm M, Himberg JJ, Alopaeus K, Gref CG, Laakso JT, Lehto JJ, et al. Dietary and biochemical indices of nutritional status in male athletes and controls. *J Am Coll Nutr.* 1992; 11:181-91.
 93. Demling RH, DeSanti L. Effect of a hypocaloric diet, increased protein intake and resistance training on lean mass gains and fat mass loss in overweight police officers. *Ann Nutr Metab.* 2000; 44:21-9.
 94. Boirie Y, Gachon P, Corny S, Fauquant J, Maubois JL, Beaufrere B. Acute postprandial changes in leucine metabolism as assessed with an intrinsically labeled milk protein. *Am J Physiol.* 1996;271:E1083-91.
 95. Venkatraman JT, Leddy J, Pendergast D. Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:S389-95.
 96. Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, Wolfe RR. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1995;268:E514-20.
 97. Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1997; 273:E99-107.
 98. Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR. Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol.* 1999;276:E118-24.
 99. Rasmussen BB, Phillips SM. Contractile and nutritional regulation of human muscle growth. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003;31: 127-31.
 100. MacDougall JD, Gibala MJ, Tarnopolsky MA, MacDonald JR, Interisano SA, Yarasheski KE. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol.* 1995;20:480-6.
 101. Hasten DL, Pak-Loduca J, Obert KA, Yarasheski KE. Resistance exercise acutely increases MHC and mixed muscle protein synthesis rates in 78-84 and 23-32 year olds. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;278:E620-6.

102. Willoughby DS, Rosene J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1674-81.
103. Pitkanen HT, Nykanen T, Knuutinen J, Lahti K, Keinanen O, Alen M, et al. Free amino acid pool and muscle protein balance after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:784-92.
104. Kobayashi H, Borsheim E, Anthony TG, Traber DL, Badalamenti J, Kimball SR, et al. Reduced amino acid availability inhibits muscle protein synthesis and decreases activity of initiation factor eIF2B. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2003;284:E488-98.
105. Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ. Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: A dose-response study. *J Physiol.* 2003;552:315-24.
106. Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ. Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids at rest. *J Physiol.* 2001;532:575-9.
107. Nakazato K, Hirose T, Song H. Increased myostatin synthesis in rat gastrocnemius muscles under high-protein diet. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16:153-65.
108. Forbes GB, Brown MR, Welle SL, Lipinski BA. Deliberate overfeeding in women and men: energy cost and composition of weight gain. *Br J Nutr.* 1986;56:1-9.
109. Grandjean AC. Diets of elite athletes: Has the discipline of sports nutrition made an impact? *J Nutr.* 1997;127:874S-7.