



PROTEÍNA DE LA DIETA PARA MANTENER EL ENVEJECIMIENTO ACTIVO

Luc J.C. van Loon, PhD | NUTRIM Escuela de Nutrición, Toxicología y Metabolismo | Universidad de Maastricht | Holanda

- El envejecimiento se acompaña de una disminución en la masa del músculo esquelético y la fuerza.
- La pérdida de masa muscular con el envejecimiento se atribuye, al menos parcialmente, a la disminución de la respuesta de la síntesis de proteína muscular al consumo de alimento.
- La actividad física aumenta la sensibilidad del tejido del músculo esquelético a las propiedades anabólicas del consumo de proteína.
- El entrenamiento con ejercicio de fuerza representa un medio efectivo para atenuar la pérdida de músculo relacionada con la edad y puede aplicarse efectivamente para aumentar la masa muscular, fuerza y rendimiento funcional en la población de adultos mayores.
- La suplementación con proteína de la dieta en los adultos mayores activos aumenta las ganancias en la masa muscular esquelética y en la fuerza durante el entrenamiento de fuerza prolongado.
- La investigación continúa para definir el tipo y cantidad óptimos de proteína y el momento adecuado de su suplementación para aumentar más la respuesta adaptativa al entrenamiento con ejercicio en la población de adultos mayores y mantenerse activo en la vejez.

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento se acompaña por la pérdida de masa muscular esquelética y fuerza. Esta pérdida reduce la capacidad funcional y aumenta el riesgo de lesión y enfermedad, incluyendo el desarrollo de enfermedad metabólica crónica. La pérdida de masa muscular con el envejecimiento se ha atribuido, al menos en parte, a una respuesta reducida de síntesis de proteína muscular al consumo de alimentos, y esto ha sido acuñado como "resistencia anabólica". La actividad física aumenta la sensibilidad del tejido del músculo esquelético a las propiedades anabólicas del consumo de proteína y puede compensar a la resistencia anabólica del envejecimiento. En apoyo, el entrenamiento prolongado de ejercicio de fuerza puede aumentar considerablemente la masa muscular y la fuerza en la población de adultos mayores. La suplementación con proteína de la dieta puede aplicarse para aumentar más la respuesta adaptativa a un estilo de vida más activo, incrementando más las ganancias en la masa muscular esquelética y la fuerza. El trabajo reciente apunta a definir el tipo y cantidad óptimos de proteína de la dieta y el momento adecuado de consumo de proteína para llevar al máximo la respuesta adaptativa del músculo esquelético a la actividad física en el adulto mayor. Este artículo de Sports Science Exchange resume el conocimiento actual del papel del consumo de proteína de la dieta para aumentar las ganancias en la masa muscular esquelética, fuerza y rendimiento para mantenerse saludable y activo en la vejez.

Las estadísticas demográficas muestran evidencia de un envejecimiento global con el número de individuos que tienen 60 años y se sobrepronostica duplicarse para el año 2050 (WHO, 2015). El envejecimiento se acompaña por una pérdida progresiva de masa muscular esquelética y fuerza, la cual reduce la capacidad funcional y predispone a los individuos a caídas, fracturas, enfermedad metabólica y otras complicaciones de salud. Los mecanismos responsables para la pérdida de masa muscular relacionada con la edad son complejos y permanecen lejos de ser esclarecidos. Sin embargo, niveles reducidos de actividad física, prevalencia de enfermedades, periodos de descanso en cama posterior a lesiones y/o hospitalización y un contenido inadecuado de proteína en la dieta, parecen contribuir todos a la pérdida de masa muscular con

el envejecimiento. Los adultos mayores que mantienen un nivel alto de actividad física durante su vida generalmente experimentan mucho menor pérdida de músculo cuando se comparan con controles sedentarios emparejados por edad (Shephard et al., 2013). En consecuencia, mantener un estilo de vida activo parece ser un prerrequisito para el envejecimiento saludable. Sin embargo, aun el adulto mayor activo experimenta algún nivel de pérdida de músculo y fuerza con la edad avanzada. Una pérdida modesta de masa muscular puede comprometer la fuerza, la capacidad oxidativa y el rendimiento funcional en general, y puede entorpecer la habilidad de mantener un estilo de vida saludable y activo. Así, la pérdida de músculo relacionada con la edad no debe considerarse sólo como un reto para el envejecimiento comprometido clínicamente; también debe ser una preocupación para adultos mayores saludables que tratan de mantenerse (o llegar a ser) físicamente activos.

REGULACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA MASA MUSCULAR

La proteína del músculo esquelético está constantemente sintetizándose y degradándose, con una tasa de intercambio de cerca del 1-2% por día (Figura 1).

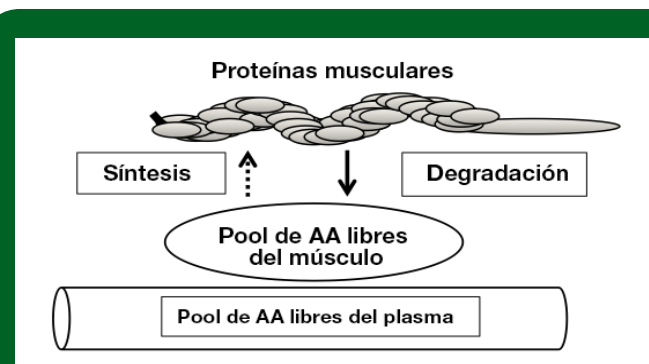


Figura 1. El tejido muscular esquelético está en un estado de intercambio constante. Los aminoácidos derivados de las proteínas de la dieta se transportan a través del plasma, se absorben en el tejido muscular y se utilizan como precursores para la síntesis de proteína muscular nueva o *de novo*. Una variedad de cambios puede ocurrir en las tasas ya sea de síntesis o de degradación de proteína muscular que pueden llevar a cambios netos en la masa de proteína muscular. Adaptado de Burd et al. (2013).

La tasa de síntesis de proteína muscular esquelética está regulada por dos estímulos metabólicos principales, el consumo de alimentos y la actividad física. El consumo de alimentos, o específicamente el consumo de proteína, eleva directamente las tasas de síntesis de proteína muscular. Los aminoácidos esenciales derivados de la proteína de la dieta, y la leucina en particular, actúan como moléculas señalizadoras activando rutas anabólicas en el tejido muscular esquelético y proporcionando precursores para la síntesis de proteína muscular. El consumo de una cantidad de proteína de la dieta como de una comida (~20 g) eleva la tasa de síntesis de proteína muscular por varias horas después de su consumo, resultando en un aumento neto de la proteína del músculo. La respuesta anabólica postprandial al consumo de alimentos compensa la pérdida de proteína muscular en el estado de ayuno post-absortivo, permitiendo de esta manera el mantenimiento de la masa muscular. Trabajo reciente sugiere que la respuesta de síntesis de proteína muscular al consumo de alimentos se disminuye en adultos mayores vs. adultos jóvenes. Esta sensibilidad reducida al consumo de alimentos en adultos mayores, o “resistencia anabólica”, ahora se cree comúnmente que representa un factor clave en la pérdida de masa muscular – el desarrollo de sarcopenia (Burd et al., 2013). Sin embargo, los mecanismos exactos subyacentes a la resistencia anabólica quedan por ser establecidos. La deficiencia en la respuesta anabólica a la alimentación puede residir en el nivel de digestión de la proteína, la absorción de los aminoácidos, la respuesta hormonal postprandial y la perfusión microvascular subsecuente, la captación de aminoácidos en el tejido muscular esquelético, la señalización intramuscular y/o la síntesis de proteína muscular miofibrilar subsecuente (Figura 2).

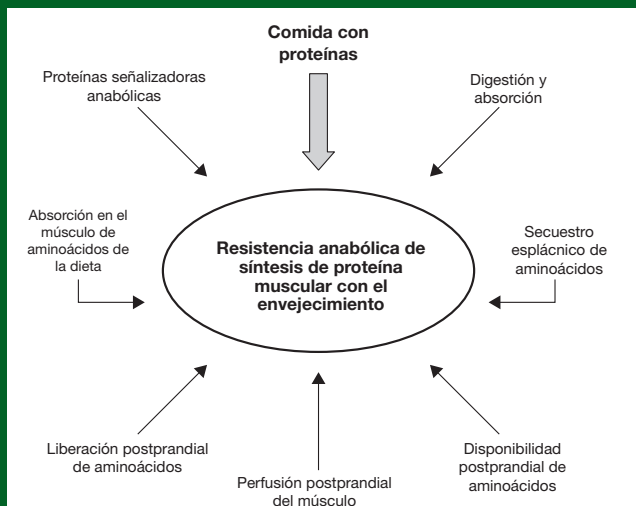


Figura 2. El consumo de proteína aumenta la tasa de síntesis de proteína muscular. La estimulación postprandial de la síntesis de proteína muscular puede modularse a múltiples niveles. Por lo tanto, la resistencia anabólica del envejecimiento puede atribuirse a una variedad de cuestiones que van desde deficiencias en la digestión de la proteína de la dieta hasta la síntesis de proteína muscular miofibrilar. Adaptado de Burd et al. (2013).

De manera interesante, la actividad física hace al tejido muscular esquelético más sensible a las propiedades anabólicas de la administración de aminoácidos o proteínas (Burd et al., 2011). La

actividad física realizada antes del consumo de una cantidad de proteína de la dieta como de una comida puede compensar a la resistencia anabólica en el adulto mayor, permitiendo que más de la proteína ingerida se utilice para la síntesis de proteína muscular *de novo* (Pennings et al., 2011a). Estos hallazgos sugieren que la resistencia anabólica en el adulto mayor puede ser, al menos en parte, atribuida a diferencias en los niveles de actividad física en lugar del envejecimiento *per se*. En soporte, nosotros (Wall et al., 2013b) así como otros investigadores (Glover et al., 2008), han demostrado que un periodo corto de actividad física reducida puede rápidamente inducir a un estado de resistencia anabólica. Esto implica que la gente mayor puede superar a la resistencia anabólica y atenuar la pérdida muscular relacionada con la edad al incrementar su nivel de actividad física. Es evidente que necesitamos hacer uso de las propiedades anabólicas tanto de la actividad física como de la nutrición para optimizar el crecimiento de proteína muscular postprandial y facilitar el mantenimiento de la masa muscular en la población mayor.

MOMENTO DE CONSUMO DE PROTEÍNA DE LA DIETA

Junto al consumo de alimento, la actividad física representa otro estímulo anabólico clave. Un solo periodo de ejercicio aumenta las tasas de síntesis de proteína muscular así como la de degradación de proteína, aunque la segunda en menor proporción, mejorando por lo tanto el balance de proteína muscular. Sin embargo, en la ausencia del consumo de nutrientes, el balance de proteína muscular permanecerá negativo. El consumo de proteína después del ejercicio aumenta aún más las tasas de síntesis de proteína muscular e inhibe la degradación de proteína muscular, resultando en un aumento neto de la proteína del músculo. El consumo de proteína de la dieta en proximidad cercana a la actividad física o al ejercicio tiene un impacto sinérgico sobre las tasas de síntesis de proteína muscular en adultos jóvenes, de tal forma que se observan tasas mayores de síntesis de proteína muscular cuando se compara con escenarios donde se proporciona un solo estímulo (Biolo et al., 1997; Moore et al., 2005; 2009b; Pennings et al., 2011a). Además de los efectos agudos del ejercicio sobre la síntesis de proteína muscular, una sola sesión de ejercicio de fuerza aumenta la sensibilidad del tejido muscular esquelético a las propiedades anabólicas de la alimentación con aminoácidos o proteína por al menos 24 h después del término del ejercicio (Burd et al., 2011). Esto sugiere que los individuos mayores también pueden experimentar un mayor aumento en la síntesis de proteína muscular postprandial después de las comidas consumidas 1-2 días después de una sola sesión de ejercicio.

El consumo de una comida rica en proteína generalmente aumenta las tasas de síntesis de proteína muscular por ~4 h, alcanzándose las tasas pico de síntesis de proteína ~2 h después del consumo de alimentos (Moore et al., 2009b). En consecuencia, a los atletas que tratan de ganar masa muscular y fuerza generalmente se les aconseja consumir 4-6 comidas más pequeñas, densas en proteína, por día (Moore et al., 2009a). Guías similares pueden aplicarse a los adultos mayores cuando tratan de mantener o incrementar la masa muscular. Trabajo reciente

de nuestro laboratorio ha mostrado que también es viable aumentar las tasas de síntesis de proteína muscular durante el sueño nocturno al administrar proteína antes de dormir (Groen et al., 2012). Entonces, una comida pequeña rica en proteína puede consumirse antes de dormir. En resumen, consumir cuatro comidas ricas en proteína por día, cada una que contenga amplia proteína, facilitará el mantenimiento de la masa muscular y soportará mayores ganancias en la masa muscular durante el entrenamiento con ejercicio de fuerza.

TIPO Y CANTIDAD DE PROTEÍNA DE LA DIETA

Un estilo de vida activo y un consumo amplio de proteína de la dieta, distribuido en varios alimentos durante el día, mejora la capacidad de mantener el tejido muscular esquelético con el envejecimiento. La respuesta de síntesis de proteína muscular a cada comida individual está además determinada por el tipo y cantidad de proteína consumida con cada alimento. Varios estudios han evaluado el tipo (Boirie et al., 1997; Pennings et al., 2013; Tang et al., 2009; West et al., 2011) y cantidad (Moore et al., 2009a; Pennings et al., 2012; Witard et al., 2014; Yang et al., 2012) de proteína de la dieta que pueden llevar al máximo las tasas de síntesis de proteína muscular postprandial. El potencial anabólico de una fuente de proteína de la dieta está altamente determinado por la cinética de su digestión y absorción y su composición de aminoácidos. Una fuente de proteína que se digiera más rápidamente, tal como la proteína de suero de leche (whey), puede provocar una respuesta mayor de síntesis de proteína muscular cuando se compara con fuentes de proteína que se digieren más lentamente como la caseína (Pennings et al., 2011b; Tang et al., 2009). Aun cuando las cinéticas de digestión y absorción son similares, pueden demostrarse las diferencias en la respuesta de síntesis de proteína muscular postprandial entre varios tipos de proteína de la dieta (Pennings et al., 2011b). Esto último se atribuye probablemente al contenido de leucina de la fuente de proteína, con la ingesta de una fuente de proteína más rica en leucina resultando en una respuesta mayor de síntesis de proteína muscular postprandial (Pennings et al., 2011b; Wall et al., 2013a). Como soporte, fortificar un solo bolo de caseína con 2-3 g de leucina libre puede aumentar considerablemente la respuesta anabólica postprandial (Katsanos et al., 2006; Wall et al., 2013a). En consecuencia, una fuente de proteína que se digiera rápidamente con un alto contenido de leucina parece ser la preferida para estimular el aumento de proteína muscular postprandial.

La respuesta de síntesis de proteína muscular posterior al consumo de proteína también aumenta de una manera dependiente de la dosis (Moore et al., 2009a; Pennings et al., 2012; Witard et al., 2014; Yang et al., 2012), alcanzándose las tasas máximas de síntesis de proteína muscular post-ejercicio en hombres jóvenes posterior al consumo de 20 g de huevo o proteína de suero de leche (Moore et al., 2009a; Witard et al., 2014; Yang et al., 2012). Sin embargo, en individuos de edad avanzada, puede requerirse más proteína para llevar al máximo las tasas de síntesis de proteína muscular postprandial (Churchward-Venne et al., 2016). Se ha demostrado que el consumo de 35 g de proteína de suero de leche aumenta las tasas de síntesis de proteína muscular postprandial en mayor proporción que cuando se comparó con el consumo de 20 g de proteína (Pennings et al., 2012). En concordancia, se ha demostrado que el consumo de 40 g de

proteína de suero de leche durante la recuperación del ejercicio resulta en mayores tasas de síntesis de proteína muscular post-ejercicio cuando se compara con el consumo de 20 g de proteína de suero de leche en hombres mayores (Yang et al., 2012). Aunque quedan muchas preguntas relacionadas con la cantidad requerida de proteína de la dieta para llevar al máximo la síntesis de proteína muscular postprandial y/o post-ejercicio, la evidencia hasta ahora indica que el consumo de 30-40 g de una fuente de proteína de la dieta de alta calidad inmediatamente después del ejercicio y a intervalos regulares a partir de ahí, puede soportar mejor el reacondicionamiento del músculo en el adulto mayor activo (Figura 3).

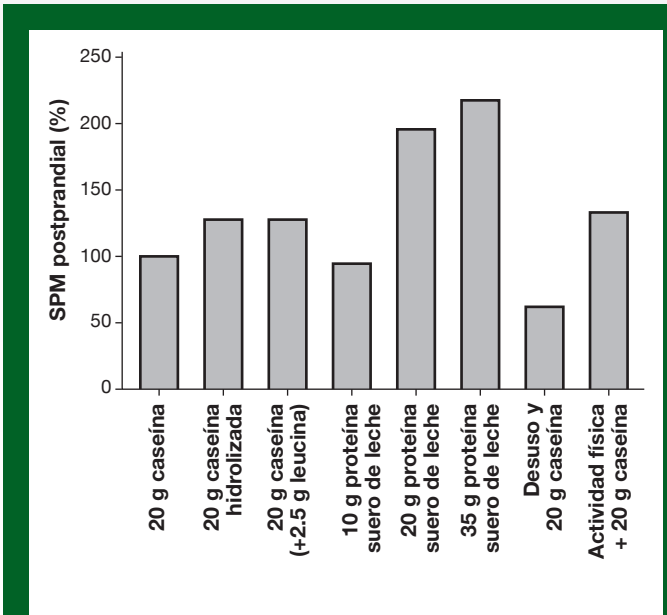


Figura 3. Tasas relativas de síntesis de proteína muscular (SPM) posterior al consumo de un solo bolo de proteína en individuos de edad avanzada. La respuesta al consumo de 20 g de la proteína caseína se toma como referencia (100%). Las barras representan la respuesta de síntesis de proteína muscular relativa comparadas con la referencia. Adaptado de Pennings et al. (2011a, b; 2012) y Wall et al. (2013a, b).

Bajo condiciones donde se proporciona abundante cantidad de proteína después del ejercicio, el tipo y composición de la fuente de proteína puede ser de menor relevancia debido al impacto de la sesión previa de ejercicio sobre la sensibilidad del tejido muscular esquelético a las propiedades anabólicas del consumo de proteína. Además, ya que la proteína generalmente se consume en una base de alimentos con co-ingestión de otros macronutrientes nosotros sólo podemos especular sobre el impacto exacto del tipo y cantidad de proteína de la dieta consumida en la respuesta de síntesis de proteína muscular postprandial o post-ejercicio. Recientemente, se ha iniciado un trabajo para abordar el impacto de otros macronutrientes sobre la respuesta de síntesis de proteína muscular postprandial (Gorissen et al., 2014; Hamer et al., 2013). Parece evidente que el consumo frecuente de comidas densas en proteína que contengan 30-40 g de fuentes de proteína de alta calidad sería más efectivo para estimular el aumento de la proteína muscular postprandial en el adulto mayor.

SUPLEMENTACIÓN CON PROTEÍNA DURANTE EL ENTRENAMIENTO

El entrenamiento de ejercicio de fuerza prolongado representa la estrategia más efectiva para aumentar la masa muscular y la fuerza, así como la capacidad funcional en la tercera edad. No hay quienes no respondan a los muchos beneficios del entrenamiento con ejercicio de fuerza en hombres o mujeres mayores (Churchward-Venne et al., 2015). Un programa de intervención de ejercicio ajustado a las necesidades individuales de los adultos mayores puede prevenir o incluso revertir la pérdida de masa muscular y fuerza. El consumo de proteína de la dieta facilita y soporta la respuesta adaptativa del músculo esquelético a una sesión de ejercicio de fuerza y, como tal, puede mejorar la eficiencia del entrenamiento. En concordancia, varios estudios han confirmado los beneficios clínicos de la suplementación con proteína de la dieta durante el entrenamiento de ejercicio de fuerza prolongado en la población de adultos mayores, logrando mayores ganancias en masa muscular y fuerza después de la suplementación con proteína (Cermak et al., 2012). Sin embargo, también hay muchos otros estudios que han fallado en confirmar los beneficios extra propuestos de la suplementación con proteína. La discrepancia aparente en las publicaciones científicas se atribuye probablemente al uso de cohortes de sujetos relativamente pequeños y la aplicación de diseños de estudio que prescriben un régimen de suplementación con proteína menor al óptimo. Un meta-análisis reciente examinó cuidadosamente las publicaciones científicas que investigaban los beneficios propuestos de la suplementación con proteína para aumentar aún más la respuesta adaptativa al entrenamiento prolongado de ejercicio de fuerza en hombres jóvenes y adultos (Cermak et al., 2012). Los individuos mayores tendieron a lograr ganancias 30-40% mayores en masa muscular y fuerza después de la suplementación con proteína durante el entrenamiento prolongado de ejercicio de fuerza (Cermak et al., 2012). La suplementación con proteína parece ser aún de mayor relevancia en adultos mayores clínicamente comprometidos y débiles, en quienes la proteína adicional parece un prerrequisito para permitir una ganancia neta en la masa muscular después de 6 meses de entrenamiento de ejercicio de fuerza (Tieland et al., 2012). Estos datos ilustran la importancia de la suplementación con proteína de la dieta para soportar el reacondicionamiento del músculo en los adultos mayores activos. Parece evidente que necesitamos definir y aplicar el tipo, dosis y momento más apropiados de la suplementación con proteína para llevar al máximo las ganancias en la masa muscular, fuerza y rendimiento funcional después de intervenciones de ejercicio prolongado en varias subpoblaciones de adultos mayores saludables y más comprometidos clínicamente.

COMPONENTES NUTRICIONALES PARA SOPORTAR EL ENVEJECIMIENTO ACTIVO

Una dieta saludable y bien equilibrada debe formar la base de cualquier plan nutricional que apunte a mejorar el reacondicionamiento del músculo. Además del momento del consumo de suficiente proteína de alta calidad, otros componentes nutricionales pueden ser capaces de aumentar la respuesta adaptativa del músculo esquelético al entrenamiento en los adultos mayores. La suplementación con creatina ha sido ampliamente utilizada por atletas recreativos y competitivos para aumentar el rendimiento en el ejercicio de alta intensidad y/o para aumentar la masa muscular y la fuerza durante entrenamiento prolongado de ejercicio de fuerza. La creatina (monohidrato) generalmente se suplementa en dosis relativamente grandes (5 g cuatro veces al día) por un periodo relativamente corto de 5-7 días para aumentar el contenido de fosfocreatina del músculo esquelético.

Posteriormente se toma una dosis de mantenimiento de 2-5 g de creatina al día para mantener elevados los niveles de fosfocreatina del músculo. Los beneficios ergogénicos se han atribuido a mayores almacenes de fosfocreatina permitiendo que esté más disponible el adenosin trifosfato para la provisión de energía durante el ejercicio intermitente de alta intensidad, permitiendo un ejercicio más intenso y una mayor adaptación al entrenamiento. Un meta-análisis reciente concluyó que la suplementación con creatina puede aumentar las ganancias en masa muscular y fuerza durante un periodo de entrenamiento en adultos mayores (Devries & Phillips, 2014). Podría especularse que esto puede ser de mayor relevancia para el atleta mayor experimentado, que ya ha llevado al máximo las ganancias inducidas por el ejercicio en la masa muscular y la fuerza, en lugar de adultos mayores novatos acabando de iniciar un programa de intervención de ejercicio.

Otro componente nutricional que ha ganado mucha atención recientemente son los ácidos grasos omega-3 derivados del aceite de pescado. Se ha reportado que la suplementación con omega-3 aumenta la respuesta de síntesis de proteína muscular a la administración de aminoácidos (Smith et al., 2011). Trabajo reciente reportó que la suplementación con aceite de pescado (2 g/día) aumentó las ganancias en la masa muscular, fuerza y capacidad funcional en mujeres mayores después de 3 meses de entrenamiento de ejercicio de fuerza (Rodacki et al., 2012). Se garantiza más trabajo para definir a la suplementación con aceite de pescado como una estrategia nutricional adjunta efectiva para aumentar la respuesta adaptativa del músculo esquelético a un estilo de vida más activo en la población de la tercera edad.

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Las recomendaciones nutricionales para los adultos mayores activos incluyen:

- Proporcionar suficiente proteína (al menos 30 g) con cada comida principal
- Asegurar suficiente consumo de proteína con el desayuno
- Consumir 30-40 g de proteína inmediatamente después del ejercicio
- Consumir 30-40 g de proteína antes de dormir

RESUMEN

El envejecimiento está asociado con una disminución de la respuesta de síntesis de proteína muscular al consumo de alimentos. Ahora se cree que esta "resistencia anabólica" contribuye a la pérdida de masa muscular y fuerza relacionada con la edad. La actividad física y el ejercicio re-sensibilizan al tejido muscular esquelético a las propiedades anabólicas del consumo de proteína en adultos mayores. Consumir proteína de la dieta en proximidad cercana a la actividad física aumenta el crecimiento de la proteína muscular y permite que más de la proteína ingerida se utilice para la síntesis de proteína muscular *de novo*. Consumir cuatro comidas densas en proteína por día puede optimizar el aumento de la proteína muscular postprandial y puede facilitar las ganancias en la masa muscular y fuerza observadas durante el entrenamiento de ejercicio prolongado. Una dosis de 30-40 g de proteína de alta calidad probablemente representa una cantidad apropiada para optimizar las tasas de síntesis de proteína muscular (post-ejercicio) en el adulto mayor. Las tasas de síntesis de proteína muscular postprandial pueden mejorar

aún más al consumir aquellas proteínas de la dieta que se digieran y absorban rápidamente y sean ricas en leucina. La suplementación con proteína de la dieta durante el entrenamiento prolongado de ejercicio de fuerza aumenta la respuesta adaptativa del músculo esquelético, resultando en ganancias mayores en la masa del músculo esquelético y fuerza tanto en adultos jóvenes como en adultos mayores. El uso de compuestos nutricionales tales como la creatina (monohidrato) y ácidos grasos derivados del aceite de pescado pueden aumentar aún más los beneficios del entrenamiento de ejercicio prolongado en el atleta mayor. Más trabajo estará dirigido al desarrollo de estrategias nutricionales que faciliten la respuesta adaptativa del músculo esquelético al entrenamiento en la población mayor, contribuyendo por lo tanto a un envejecimiento activo más saludable.

REFERENCIAS

- Biolo, G., K. Tipton, S. Klein, and R. Wolfe (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am. J. Physiol.* 273:E122-E129.
- Boirie, Y., M. Dangin, P. Gachon, M. Vasson, J. Maubois, and B. Beaufrère (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 94:14930-14935.
- Burd, N., S. Gorissen, and L. van Loon (2013). Anabolic resistance of muscle protein synthesis with aging. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 41:169-173.
- Burd, N., D. West, D. Moore, P. Atherton, A. Staples, T. Prior, J. Tang, M. Rennie, S. Baker, and S. Phillips (2011). Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *J. Nutr.* 141:568-573.
- Churchward-Venne, T., A. Holwerda, S. Phillips, and L. van Loon (2016). What is the optimal amount of protein to support post-exercise skeletal muscle reconditioning in the older adult? *Sports Med.* E-pub ahead of print. PMID 26894275.
- Churchward-Venne, T., M. Tieland, L. Verdijk, M. Leenders, M. Dirks, L. de Groot, and L. van Loon (2015). There are no nonresponders to resistance-type exercise training in older men and women. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 16:400-411.
- Cermak, N., P. Res, L. de Groot, W. Saris, and L. van Loon (2012). Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 96:1454-1464.
- Devries, M.C., and S. Phillips (2014). Creatine Supplementation during Resistance Training in Older Adults-a Meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46:1194-1203.
- Glover, E., S. Phillips, B. Oates, J. Tang, M. Tarnopolsky, A. Selby, K. Smith, and M. Rennie (2008). Immobilization induces anabolic resistance in human myofibrillar protein synthesis with low and high dose amino acid infusion. *J. Physiol.* 586:6049-6061.
- Gorissen, S., N. Burd, H.M. Hamer, A. Gijsen, B. Groen, and L. van Loon (2014). Carbohydrate co-ingestion delays dietary protein digestion and absorption but does not modulate postprandial muscle protein accretion. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 99:2250-2255.
- Groen, B., P. Res, B. Pennings, E. Hertle, J. Senden, W. Saris, and L. van Loon (2012). Intra-gastric protein administration stimulates overnight muscle protein synthesis in elderly men. *Am. J. Physiol.* 302:E52-E60.
- Hamer, H., B. Wall, A. Kiskini, A. de Lange, B. Groen, J. Bakker, A. Gijsen, L. Verdijk, and L. van Loon (2013). Carbohydrate co-ingestion with protein does not further augment post-prandial muscle protein accretion in older men. *Nutr. Metab.* 10:10-15.
- Katsanos, C., H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, A. Aarsland, and R. Wolfe (2006). A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am. J. Physiol.* 291:E381-E387.
- Moore, D., S. Phillips, J. Babraj, K. Smith, and M. Rennie (2005). Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *Am. J. Physiol.* 288:E1153-E1159.
- Moore, D., M. Robinson, J. Fry, J. Tang, E. Glover, S. Wilkinson, T. Prior, M. Tarnopolsky, and S. Phillips (2009a). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am. J. Clin. Nutr.* 89: 161-168.
- Moore, D., J. Tang, N. Burd, T. Rerечich, M. Tarnopolsky, and S. Phillips (2009b). Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise. *J. Physiol.* 587:897-904.
- Pennings, B., R. Koopman, M. Beelen, J. Senden, W. Saris, and L. van Loon (2011a). Exercising before protein intake allows for greater use of dietary protein-derived amino acids for *de novo* muscle protein synthesis in both young and elderly men. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:322-331.
- Pennings, B., Y. Boirie, J. Senden, A. Gijsen, H. Kuipers, and L. van Loon (2011b). Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:997-1005.
- Pennings, B., B. Groen, A. de Lange, A. Gijsen, A. Zorenc, J. Senden, and L. van Loon (2012). Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men. *Am. J. Physiol.* 302:E992-E999.
- Pennings, B., B. Groen, J. van Dijk, A. de Lange, A. Kiskini, M. Kuklinski, J. Senden, and L. van Loon (2013). Minced beef is more rapidly digested and absorbed than beef steak, resulting in greater postprandial protein retention in older men. *Am. J. Clin. Nutr.* 98:121-128.
- Rodacki, C., A. Rodacki, G. Pereira, K. Naliwaiko, I. Coelho, D. Pequito, and L. Fernandes (2012). Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. *Am. J. Clin. Nutr.* 95:428-436.
- Shepherd R.J., H. Park, S. Park, and Y. Aoyagi (2013). Objectively measured physical activity and progressive loss of lean tissue in older Japanese adults: longitudinal data from the Nakanajo study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 61:1887-1893.
- Smith, G., P. Atherton, D. Reeds, B. Mohammed, D. Rankin, M. Rennie, and B. Mittendorfer (2011). Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. *Clin. Sci.* 121:267-278.
- Tang, J., D. Moore, G. Kujbida, M. Tarnopolsky, and S. Phillips (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *J. Appl. Physiol.* 107:987-992.
- Tieland, M., M. Dirks, N. van der Zwaluw, L. Verdijk, O. van de Rest, L. de Groot, and L. van Loon (2012). Protein supplementation increases muscle mass gain during prolonged resistance-type exercise training in frail elderly people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 13:713-719.
- Wall, B., H. Hamer, A. de Lange, A. Kiskini, B. Groen, J. Senden, A. Gijsen, L. Verdijk, and L. van Loon (2013a). Leucine co-ingestion improves post-prandial muscle protein accretion in elderly men. *Clin. Nutr.* 32:412-419.
- Wall, B., T. Snijders, J. Senden, C. Ottenbros, A. Gijsen, L. Verdijk and L. van Loon (2013b). Disuse impairs the muscle protein synthetic response to protein ingestion in healthy men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 98:4872-4878.
- West, D., N. Burd, V. Coffey, S. Baker, L. Burke, J. Hawley, D. Moore, T. Stellingwerff, and S. Phillips (2011). Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 94:795-803.
- WHO (2015). World report on ageing and health. <http://www.who.int/ageing/events/world-report-2015-launch/en/>
- Witard, O., S. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby, and K. Tipton (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:86-95.
- Yang, Y., L. Breen, N. Burd, A. Hector, T. Churchward-Venne, A. Josse, M. Tarnopolsky, and S. Phillips (2012). Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *Br. J. Nutr.* 7:1-9.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: van Loon, L.J. (2016). Dietary protein to support active aging. *Sports Science Exchange* Vol. 28, No. 160, 1-5, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.