



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CANTIDAD DE PROTEÍNA NECESARIA PARA MAXIMIZAR LA RESPUESTA ANABÓLICA DEL MÚSCULO DESPUÉS DEL EJERCICIO DE FUERZA

Kevin D. Tipton, PhD | Universidad de Stirling | Stirling, Escocia | Reino Unido

PUNTOS CLAVE

- El principio metabólico para los cambios en la masa muscular es el balance neto de proteínas, es decir, el balance entre la síntesis de proteínas musculares (SPM) y su degradación (DPM). Los cambios en la SPM afectan en una mayor proporción el cambio en el balance neto de proteínas que los cambios en el DPM.
- Muchos factores influyen en la respuesta de la SPM a la ingesta de proteínas después del ejercicio de fuerza. Sin embargo, la cantidad de proteína consumida en la comida después del ejercicio es el factor más importante para determinar la magnitud de la respuesta de la SPM.
- El incremento en la SPM con el aumento de las cantidades de proteínas consumidas no es infinito y se estanca a una cantidad óptima de ingesta.
- La cantidad óptima de proteínas a consumir después del ejercicio varía dependiendo de varios factores que incluyen las características de la sesión de ejercicios (por ej., entrenar solo piernas o cuerpo entero), la edad del individuo, el tipo de proteínas ingeridas y posiblemente la cantidad de masa muscular que el sujeto posee.
- El consumo de 20 a 25 g de proteínas de alta calidad parece ser suficiente para estimular al máximo la SPM en varones jóvenes sanos después de ejercicio de fuerza en las piernas. Sin embargo, está claro que la ingesta de 20 g de proteínas no maximiza el estímulo de la SPM en todas las circunstancias.
- La cantidad de proteínas necesarias para maximizar el estímulo de la SPM incrementa cuando se ejercitan grupos musculares más grandes, aumenta la edad de la persona o se consumen proteínas con una composición inferior de aminoácidos.

INTRODUCCIÓN

El músculo es el tejido más importante para aquellos que realizan actividad física diaria, se ejercitan para estar saludables, para disfrutar, o entrenan para competir (desde atletas elite hasta aficionados), adultos mayores y pacientes hospitalizados. Con frecuencia la importancia del tejido muscular se relaciona con el movimiento y la fuerza. Sin embargo, el músculo también es un tejido más crucial para la salud metabólica (Wolfe, 2006). Así, los factores que aumentan el mantenimiento o el crecimiento de la masa muscular contribuyen de manera importante a la salud en general. Los dos factores del estilo de vida que más influyen sobre la masa muscular son la nutrición y la actividad física.

La regulación metabólica de la síntesis de proteína muscular (SPM) y su degradación (DPM), es decir, el balance neto de proteínas musculares (BALN), determinan los cambios en la masa muscular. La masa muscular se adquiere durante un período determinado cuando la SPM excede la DPM. Así, el BALN fluctúa naturalmente durante el día entre períodos de BALN positivo (ganancia de músculo) y BALN negativo (pérdida de músculo), en respuesta a la alimentación y actividad física habitual. La ingesta de nutrientes (principalmente proteína) y el ejercicio regulan la SPM, la DPM y, por lo tanto, el BALN. Específicamente el ejercicio de fuerza incrementa la SPM en ayuno, pero el BALN permanece negativo en ausencia de aminoácidos adicionales provenientes de una fuente alimentaria de proteínas (Biolo et al., 1995); la ingesta de proteínas estimula la SPM originando un período transitorio de BALN positivo. La contribución de la SPM a la respuesta general de BALN al ejercicio y la nutrición es mucho mayor que el aporte de la DPM (Biolo et al., 1995, 1997; Phillips et al., 1997). Así, los cambios en la SPM influyen en la mayoría de las

modificaciones en la masa muscular con el entrenamiento y el soporte nutricional.

Además, los cambios en la SPM en respuesta al ejercicio y la nutrición juegan un papel más amplio en la respuesta adaptativa al ejercicio a través de la remodelación de las proteínas musculares. El ejercicio y particularmente el ejercicio de fuerza, aumenta la respuesta de la SPM a los aminoácidos provenientes de las proteínas de los alimentos (Biolo et al., 1997; Pennings et al., 2011; Witard et al., 2014). Así, consumir una comida que contenga proteínas alrededor de 24 horas de la sesión de ejercicio producirá depósito de proteínas y finalmente cambios fenotípicos en la masa muscular (Burd et al., 2011).

Hay muchos factores que influyen en la respuesta de la SPM a la ingesta de proteínas. El momento de la ingesta en relación con la sesión de ejercicios, otros nutrientes consumidos conjuntamente, las características de la proteína (es decir, la composición de aminoácidos y las propiedades digestivas) y la cantidad ingerida. Todos impactan la respuesta de la SPM (Witard et al., 2016b). El patrón de distribución de proteína durante cierto tiempo también parece influir sobre la respuesta metabólica (Areta et al., 2013). De estos factores, la cantidad de proteína consumida en una sola porción parece tener el mayor impacto en la respuesta de la SPM (Schoenfeld et al., 2013). Así en este artículo de Sports Science Exchange nos enfocaremos en la respuesta de la cantidad de proteína consumida en una sola toma. Examinaremos las evidencias relacionadas con la cantidad de proteína necesaria para optimizar la respuesta de la SPM en una sola porción en varias circunstancias y poblaciones. La discusión se enfocará en la respuesta de la SPM después del ejercicio de fuerza debido a que la mayoría de la información disponible se limita a este tipo de ejercicio.

DOSIS-RESPUESTA DE LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS MUSCULARES A LA INGESTA DE PROTEÍNAS DESPUÉS DEL EJERCICIO EN ADULTOS JÓVENES ENTRENADOS

La respuesta aguda de la SPM al incremento de las dosis de proteína después del ejercicio de fuerza en adultos sanos entrenados no parece ser limitada. Moore y colegas (2009a) fueron los primeros que mostraron un incremento progresivo en la SPM cuando atletas de fuerza entrenados consumieron cantidades progresivamente mayores de proteína de huevo después de realizar ejercicio de fuerza solo de piernas. La SPM incrementó progresivamente con el aumento de dosis hasta 20 g, pero no hubo un aumento adicional cuando se consumieron 40 g. Además, la oxidación de aminoácidos se elevó después de la dosis de 40 g de proteínas. Así la respuesta anabólica máxima después del ejercicio se consideró como el resultado de la ingesta de 20 g de proteínas de alta calidad, y más de 20 g era innecesario. La ingesta de proteína en cantidades superiores a los 20 g simplemente resultaba en un incremento de las rutas no anabólicas de los aminoácidos ingeridos sin incrementos adicionales de la SPM.

El trabajo de Moore y colaboradores (2009a) fue el primero en estudiar la respuesta de la SPM a las dosis de proteína ingerida, pero como en cada estudio, una serie de interrogantes permanecieron sin responder y nuestro laboratorio se propuso abordar algunas de ellas. En el estudio de Moore et al. (2009a) la respuesta de la SPM a la ingesta de proteína posterior al ejercicio se midió después de una noche de ayuno. Era posible que la respuesta fuera menos efectiva después de la comida previa (“efecto de llenado del músculo”) afectando los cambios en la dinámica dosis-respuesta (Atherton et al., 2010). Por lo tanto, nosotros estudiamos la respuesta al incremento de las cantidades de la ingesta de proteínas en hombres entrenados después de un desayuno consumido 3 h antes del ejercicio (Witard et al., 2014). Además medimos la SPM miofibrilar (en lugar de la SPM del músculo completo) para determinar la respuesta de la fracción de proteínas musculares que más contribuye a los cambios en la masa muscular y la fuerza. La SPM miofibrilar incrementó con la ingesta de 20 g de proteína de suero de leche (whey), pero no hubo un incremento adicional en la respuesta a la ingesta de 40 g de proteína después de una sesión de ejercicio de fuerza solo en piernas. Así, a pesar de varias diferencias metodológicas, estos resultados respaldan la noción de que la SPM se maximiza con la ingesta de ~20 g de proteína después de ejercicio de fuerza solo en piernas, en levantadores de pesas jóvenes entrenados. Además, en concordancia con los estudios iniciales, la oxidación de aminoácidos (sin efecto anabólico) se incrementó dramáticamente con la ingesta de 40 g de proteína de suero de leche (Witard et al., 2014). Así, juntando estos resultados con los de Moore et al. (2009a), está claro que el incremento en la SPM miofibrilar con el incremento de la dosis de proteína, por lo menos después del ejercicio de fuerza solo en piernas (en estado de ayuno o no), no fue infinito. El exceso de aminoácidos no utilizados para la SPM con la ingesta de cantidades mayores de proteínas es desviado hacia vías no anabólicas tales como la oxidación. Por lo tanto, los resultados de estos estudios fueron empleados para hacer recomendaciones sobre la ingesta de proteína después del ejercicio a no más de 20 a 25 g.

Un factor importante a considerar para optimizar la cantidad de proteína ingerida después del ejercicio es la masa muscular total del sujeto que consume las proteínas (Breen & Phillips, 2011; Churchward-Venne et al., 2012b; Witard et al., 2016b). Es claro que la síntesis de proteína muscular se incrementa en los músculos en reposo después de que se ejercitan otros músculos (Moore et al., 2009b; Witard et al., 2014) y que el transporte de aminoácidos aumenta tanto en los músculos en reposo como en los ejercitados cuando existen niveles elevados de aminoácidos en la sangre (Biolo et al., 1997). Este incremento en el transporte produce una mayor incorporación de estos aminoácidos (incluyendo aquellos derivados de la proteína consumida) en la proteína muscular (Pennings et al., 2011). Ya que el aumento en la SPM está limitado fundamentalmente por la disponibilidad de aminoácidos para su incorporación a la proteína, una mayor cantidad de masa muscular tomando aminoácidos de una cantidad finita de proteína ingerida podría limitar las respuestas de algunos músculos, contraídos o no. Por lo tanto, parece ser intuitivamente lógico que los sujetos con mayor masa muscular pueden requerir ingerir cantidades mayores de proteína para mantener la disponibilidad de aminoácidos en todos los músculos y estimular la SPM al máximo. Así, se afirma con frecuencia que la SPM no puede alcanzar su máximo después de la ingesta de 20 g de proteína en sujetos con grandes cantidades de masa muscular (Churchward-Venne et al., 2012b; Witard et al., 2016b).

La pregunta sobre el efecto de la masa muscular en la respuesta de la SPM al incremento de la dosis de proteína ingerida se respondió reclutando levantadores de pesas entrenados y dividiéndolos en dos grupos con base en la medición de su masa corporal magra (MCM) (Macnaughton et al., 2016). Los levantadores con ≥ 70 kg de MCM fueron ubicados en el grupo de alta MCM y aquellos con ≤ 65 kg fueron ubicados en el grupo de baja MCM. La SPM se midió después de una serie de ejercicios de fuerza para todo el cuerpo y la ingesta de 20 ó 40 g de proteína de suero de leche. Nosotros hicimos la hipótesis de que no habría diferencias en la respuesta de la SPM a la ingesta de 20 ó 40 g de proteína en el grupo con baja MCM, pero que la respuesta a la SPM sería mayor para los 40 g vs 20 g en los sujetos más grandes. Curiosamente y para nuestra sorpresa, la respuesta de la SPM fue similar entre los dos grupos de sujetos con diferentes cantidades de músculo. Se debe resaltar que en este estudio se realizó una serie de ejercicios de fuerza para todo el cuerpo antes de la ingesta de proteína (Macnaughton et al., 2016), a diferencia de los ejercicios solo para piernas en los estudios previos (Moore et al., 2009a; Witard et al., 2014). Así pareciera que la cantidad de músculo activamente involucrado en el ejercicio antes de la ingesta de proteína podría ser más importante que la cantidad total de músculo de un sujeto determinado. También es crítico destacar que hasta la fecha, ningún estudio ha comparado directamente la respuesta de la SPM a diferentes dosis de proteínas en ejercicios de fuerza solo para piernas versus el cuerpo entero. Esta comparación debe realizarse antes de que se pueda concluir con certeza que la diferencia entre los estudios es debido a la cantidad de masa muscular involucrada en el ejercicio. Parece probable que la dosis de 40 g de proteína podría originar una mayor SPM en sujetos más grandes después de una sesión de ejercicio de fuerza solo para piernas, pero no después de un entrenamiento de cuerpo entero.

Un resultado sorprendente en el estudio de Macnaughton y colaboradores (2016) fue que cuando se combinaron los sujetos participantes en ambos grupos, la respuesta de la SPM fue mayor después de 40 vs. 20 g de proteína ingerida. Así, este estudio fue el primero en reportar que la respuesta de la SPM a la dosis de 40 g fue mayor a la respuesta de 20 g en hombres jóvenes entrenados. La pregunta obvia es ¿por qué estos hallazgos fueron diferentes a los de estudios previos? Una posibilidad es simplemente la potencia estadística. En los estudios iniciales hubo una diferencia promedio de ~10% entre las dosis de 40 g y 20 g que no alcanzaron significancia estadística. Este estudio más reciente evaluó la SPM en 30 participantes en comparación con 12 por grupo del trabajo de Witard y colaboradores (2014) y seis participantes en total para el diseño cruzado de Moore et al., (2009a). Así, es concebible que la diferencia entre 40 y 20 g reportada en los estudios previos fuera real, pero la potencia estadística fuera baja y así la diferencia fisiológica real entre las dosis no pudiera detectarse. Sin embargo, la diferencia entre 40 y 20 g (~20%) en nuestro estudio fue el doble de la diferencia en los trabajos iniciales. Por lo tanto, una segunda y más probable explicación para las diferencias entre los resultados de los estudios fue el tipo de ejercicio empleado (es decir, cuerpo entero versus solo piernas). Por supuesto, debido a que las respuestas al ejercicio de fuerza de cuerpo entero o solo de piernas nunca se han comparado directamente, no podemos descartar otras posibilidades para explicar las discrepancias entre los estudios.

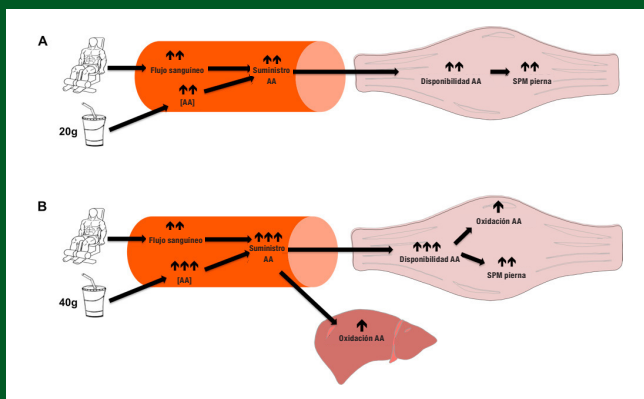


Figura 1. Mecanismos propuestos para explicar las diferentes respuestas de la síntesis de proteína muscular (SPM) al consumo de 20 y 40 g de proteína después del ejercicio de fuerza solo para pierna.

A) Ingesta de 20 g de proteína después de ejercicio de fuerza solo para pierna. El ejercicio de fuerza incrementa el flujo sanguíneo hacia los músculos contraídos. Los aminoácidos (AA) de la proteína ingerida incrementan las concentraciones arteriales de AA. El suministro de aminoácidos (flujo sanguíneo x [AA]) aumenta, produciendo un incremento de la disponibilidad de AA para la SPM. La SPM aumenta en los músculos contraídos cerca de su tasa máxima.

B) Ingesta de 40 g de proteína después de ejercicio de fuerza solo para pierna. La [AA] arterial aumenta más que con 20 g, así la disponibilidad de AA para la SPM también se incrementa. Sin embargo, la SPM es máxima con una disponibilidad menor de AA, por lo que el exceso de AA se deriva hacia vías no anabólicas, en particular la oxidación.

[AA] arterial - concentración de aminoácidos en la arteria; Suministro AA - suministro de aminoácidos hacia el músculo = [AA] arterial x flujo sanguíneo hacia el músculo; disponibilidad de AA - disponibilidad intracelular de AA al músculo; oxidación de AA - oxidación del exceso de aminoácidos.

Sin embargo, si la explicación más probable a las diferencias en los resultados fueron las rutinas de ejercicio de fuerza empleadas, en las Figuras 1 y 2 se propone un mecanismo fisiológico para explicar estos resultados. Esencialmente se basa en el hecho de que la demanda total de aminoácidos será mayor cuando se involucran más músculos durante el ejercicio, reduciendo así la disponibilidad de aminoácidos para cualquier cantidad determinada de músculo. El flujo de sangre nutritiva hacia los músculos contraídos aumenta después del ejercicio de fuerza (Biolo et al., 1995). Sin embargo, cuando otros músculos también se involucran en el ejercicio, el flujo de sangre se reduce tanto a los músculos contraídos como a los no contraídos (Volianitis & Secher, 2002), y el incremento en los músculos activos diluye el suministro de aminoácidos a cada grupo muscular individual. Según este argumento, el ejercicio de fuerza para todo el cuerpo producirá una dispersión mayor del flujo de sangre hacia los músculos de manera que el suministro de aminoácidos para cada grupo muscular individual no fue suficiente cuando se ingerían los 20 g. Sin embargo, la ingesta de 40 g de proteína aportó suficientes aminoácidos para asegurar un suministro y disponibilidad que permitieran un aumento adicional de la SPM después del ejercicio de fuerza para todo el cuerpo.

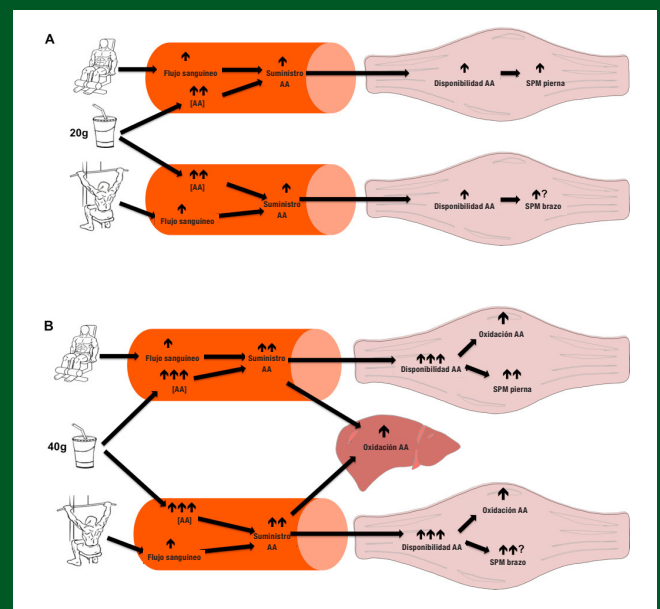


Figura 2. Mecanismos propuestos para explicar las diferentes respuestas de la síntesis de proteína muscular (SPM) al consumo de 20 y 40 g de proteína después del ejercicio de fuerza para todo el cuerpo.

A) Ingesta de 20 g de proteína después de ejercicio de fuerza para todo el cuerpo. El flujo sanguíneo se incrementa tanto para las piernas como para el tren superior. Una distribución más amplia de aminoácidos derivados de las proteínas produce un menor suministro y disponibilidad para cada músculo individual. La SPM en los músculos de la pierna contraída es menor (Macnaughton et al., 2016) que con el ejercicio solo para la pierna (Witard et al- 2014).

B) Ingesta de 40 g de proteína después de ejercicio de fuerza para todo el cuerpo. El incremento de la [AA] produce un mayor suministro de AA, aumentando así la disponibilidad para cada músculo. La SPM en los músculos contraídos de la pierna (y probablemente en la parte superior del cuerpo) aumenta más que con 20 g.

[AA] arterial - concentración de aminoácidos en la arteria; Suministro AA - suministro de aminoácidos hacia el músculo = [AA] arterial x flujo sanguíneo hacia el músculo; disponibilidad de AA - disponibilidad intracelular de AA al músculo; oxidación de AA - oxidación del exceso de aminoácidos.

El hecho de que la tasa de SPM miofibrilar se redujo en nuestro estudio reciente (Macnaughton et al., 2016) en comparación con nuestro estudio previo (Witard et al., 2014), respalda el argumento de que los aminoácidos eran la limitante en el ejercicio para todo el cuerpo. La menor respuesta en la SPM para el ejercicio de todo el cuerpo puede haber ocultado algunas diferencias presentes entre los levantadores de pesas con diferentes cantidades de masa muscular. Sin embargo, una vez más, hasta que no se realice una comparación entre ejercicio de cuerpo entero y ejercicio solo de piernas no podemos concluir con absoluta certeza que la respuesta en la SPM es diferente en estos dos tipos de trabajos de fuerza. No obstante, al menos, parece claro que al ingerir ~20 g de proteína no se estimula al máximo la SPM en todas las circunstancias y que esta recomendación de una dosis única de proteína después del ejercicio de fuerza parece ser demasiado simple.

RESPUESTA DE LA SPM AL INCREMENTO DE LAS DOSIS DE PROTEÍNA EN ADULTOS MAYORES

La pérdida de músculo con la edad (es decir, sarcopenia) está bien documentada y cada vez más se reconoce como un problema crítico en nuestra población que envejece. Por supuesto, todas las intervenciones de nutrición y ejercicio que puedan ayudar a mantener e incluso incrementar la masa muscular serán importantes para un envejecimiento saludable. El ejercicio de fuerza es una forma demostrada para incrementar la masa muscular en adultos mayores tal y como ha sido establecido en el posicionamiento del Colegio Americano de Medicina del Deporte (Chodzko-Zajko et al., 2009). La ingesta de proteína en combinación con el ejercicio de fuerza incrementa la respuesta de la SPM. Sin embargo, la dosis óptima de proteína para llevar al máximo la respuesta de la SPM al ejercicio de fuerza para que se produzcan ganancias en la masa muscular en adultos mayores no está clara.

Los cambios metabólicos que producen la pérdida de músculo con la edad no se entienden completamente. Ahora parece claro que en estado basal (en descanso y ayuno) la tasa de SPM es esencialmente la misma en adultos jóvenes o mayores (Volpi et al., 2001; Cuthbertson et al., 2005). Sin embargo, el principal factor que contribuye a la sarcopenia con el incremento de la edad es la resistencia del músculo a la estimulación anabólica o "resistencia anabólica". Hay una resistencia particular a la estimulación anabólica de la ingesta de proteínas (Witard et al., 2016a). El ejercicio de fuerza y el consumo de proteína son intervenciones bien aceptadas para contrarrestar la pérdida de músculo con la edad. Sin embargo, la combinación óptima de consumo de proteína para reducir la pérdida de masa muscular y/o optimizar la ganancia de músculo aún tiene que ser determinada de manera definitiva en esta población. Es importante entender la relación dosis respuesta entre la SPM y la ingesta de proteína en adultos mayores para ayudar a formular recomendaciones apropiadas de ejercicio y nutrición con el fin de contrarrestar la sarcopenia y la dinapenia (reducción de la fuerza).

El trabajo del laboratorio del difunto Profesor Mike Rennie mostró que la estimulación de la SPM miofibrilar fue menor para adultos mayores que para jóvenes con la ingesta de aminoácidos esenciales hasta una dosis de 20 g, equivalentes a alrededor de 40 g de proteína completa

(Cuthbertson et al., 2005). Nosotros posteriormente recopilamos datos de varios estudios para reunir información sobre las respuestas a una dosis única con relación a la masa corporal magra y total en adultos mayores y jóvenes en condiciones de reposo (Moore et al., 2015). Los hallazgos fueron consistentes con el concepto de resistencia anabólica y se enfatizaron las diferencias entre adultos jóvenes y mayores cuando examinamos la relación con el tejido magro. El punto donde no siguió incrementando la SPM ocurrió cuando la ingesta de proteína llegó a 0,60 y 0,25 g de proteína/kg de masa magra para los adultos mayores y jóvenes respectivamente. Cuando se consideró en términos de masa corporal total, la respuesta a la síntesis de proteína se estancó a ~0,40 g de proteínas/kg de peso corporal total en adultos mayores y 0,24 g de proteínas/kg de peso corporal en hombres jóvenes. Es interesante destacar que el consumo de 0,40 g de proteínas en cada una de las tres comidas al día originó una ingesta total de 1,2 g de proteínas/kg durante el día. Esta es la misma cantidad que fue relacionada con una mayor retención de masa corporal magra en adultos mayores (Houston et al., 2008). Sin embargo, estos resultados se obtuvieron en condiciones de reposo. Debido a que el ejercicio y en particular el ejercicio de fuerza, tiene un profundo impacto en la respuesta de la SPM a la ingesta de proteínas de hasta 24 h después del ejercicio (Burd et al., 2011), es importante examinar la relación de una sola comida sobre la SPM después del ejercicio.

La resistencia del músculo a la estimulación anabólica parece impactar la relación entre la dosis de proteína y la respuesta de la SPM en adultos mayores. Yang y colaboradores (2012a) examinaron la SPM miofibrilar en reposo y después de ejercicio de fuerza solo de pierna en hombres mayores con la ingesta de 0, 10, 20 y 40 g de proteína de suero de leche. Ellos reportaron que la ingesta de 20 g fue la de máxima eficacia para estimular la SPM de estos adultos mayores en reposo ya que no hubo aumentos adicionales con la ingesta de 40 g de proteína de suero de leche. Sin embargo, Pennings y colaboradores (2011) reportaron que la SPM se incrementó en mayor grado en reposo con 35 g vs. 20 g de proteína de suero de leche. No existe explicación obvia para estas discrepancias entre los dos estudios.

No obstante, el ejercicio de fuerza incrementó la habilidad del músculo para utilizar los aminoácidos derivados de la proteína ingerida para la SPM en adultos mayores (Pennings et al., 2011). La SPM también fue superior para cada dosis de proteína ingerida por adultos mayores en el estudio de Yang y colaboradores (2012a). Por otra parte, a diferencia de los estudios iniciales en adultos jóvenes que realizaron ejercicio de fuerza solo para pierna, la respuesta de la SPM miofibrilar a 40 g de proteína fue mayor que la respuesta a 20 g y no hubo una meseta clara en la respuesta de la SPM (Yang et al., 2012a). Así, se desconoce si la ingesta de dosis aún mayores de proteína después del ejercicio estimulará aún más la SPM en adultos mayores. Se debe señalar que la ingesta de > 40 g de proteína en una sola comida podría no ser bien tolerada por la mayoría de los adultos mayores. Sin embargo, parece claro que la relación dosis respuesta entre la ingesta de proteína y la SPM después del ejercicio de fuerza se altera en adultos mayores, por lo menos en ejercicio solo de pierna.

FUENTE DE PROTEÍNA

Otro factor importante que influye sobre la respuesta de la SPM a la ingesta de proteína después del ejercicio es la fuente de proteína ingerida. La composición de aminoácidos y las propiedades digestivas de la proteína se consideran factores importantes que impactan la SPM (Witard et al., 2016b). El contenido de leucina de la proteína es considerado el factor más importante para llevar al máximo la SPM. De hecho, se ha propuesto la hipótesis de “umbral de leucina” para explicar las diferencias en la respuesta de la SPM a diferentes proteínas (Breen & Phillips, 2011). En esta teoría, se predice que las proteínas con una mayor proporción de leucina estimularán más la SPM postprandial. Otra consideración para determinar la SPM postprandial es la propiedad digestiva de la proteína. Existen evidencias de que, en igualdad de condiciones, la proteína que produce un aumento más rápido en la concentración sanguínea de leucina estimula la SPM en mayor proporción (West et al., 2011). El incremento más rápido en la leucina sanguínea explica por qué la proteína de suero de leche produce una mayor SPM después del ejercicio de fuerza que la caseína micelar (Tang et al., 2009). Estas características diferenciales entre diversas proteínas impactarán la relación de la dosis ingerida en una sola comida sobre la respuesta de la SPM después del ejercicio.

Existe relativamente poca información disponible sobre la respuesta de la SPM a varias dosis de proteína diferente a la proteína de suero de leche. Dada la importancia de la composición de leucina a la respuesta de la SPM, se cree que las proteínas que contienen menos leucina, como las proteínas vegetales (van Vliet et al., 2015), producirán una respuesta anabólica menor. Yang y colaboradores (2012b) investigaron la respuesta de la SPM a la ingesta de proteína de soya después del ejercicio de fuerza en adultos mayores. En reposo, la respuesta a la SPM después de la ingesta de 20 ó 40 g de proteína de soya no fue mayor a no consumir proteína alguna. Sin embargo, después del ejercicio de fuerza, la SPM fue mayor con la ingesta de 40 g pero no con 20 g de proteína de soya (Yang et al., 2012b). Además, la respuesta de la SPM a la ingesta de proteína de soya fue menor que con la ingesta de proteína de suero de leche a todas las dosis en reposo y después del ejercicio. Así, estos datos son consistentes con el concepto del umbral de leucina, sugiriendo que se necesita la ingesta de cantidades mayores de las también llamadas proteínas de fuentes inferiores (aquellas con menor contenido de leucina) para estimular al máximo la SPM. Desafortunadamente, hasta la fecha este es el único estudio que ha investigado sistemáticamente la respuesta de la SPM al incremento de las dosis de proteínas vegetales en humanos y no existen datos disponibles en sujetos jóvenes. Sin embargo, ya que las proteínas vegetales usualmente contienen menos leucina que las proteínas animales (van Vliet et al., 2015), podría esperarse que se requiera una mayor dosis de proteína para producir tasas similares de SPM a aquellas alcanzadas con la ingesta de proteína de suero de leche. Así, sería interesante determinar las curvas de dosis respuesta para varias proteínas vegetales, particularmente las fuentes con mayor contenido de leucina, como las leguminosas o la quinoa (van Vliet et al., 2015).

La importancia de la composición de leucina en las fuentes de proteínas para la estimulación de la SPM ha llevado a la sugerencia

de que agregar leucina a una proteína “inferior” puede incrementar la respuesta de la SPM (Witard et al., 2016a). Ha habido un número limitado de intentos para investigar la respuesta de la SPM a varias mezclas de proteínas y aminoácidos libres diseñados para manipular la proporción de leucina (Atherton et al., 2017; Churchward-Venne et al., 2012a, 2014; Reidy et al., 2013). Sin embargo, no se ha realizado una investigación sistemática de la relación dosis respuesta de las mezclas de proteína ingeridas con la SPM después del ejercicio. No obstante, esta información será importante para entender estas variables de manera que se puedan hacer recomendaciones apropiadas sobre la ingesta de proteína después del ejercicio.

Debido a que las propiedades digestivas de la proteína influyen en el efecto anabólico de su ingesta (Breen & Phillips, 2011; Witard et al., 2016a, 2016b), la forma en la cual se consume la proteína también puede tener un impacto importante en la dosis respuesta. La mayoría de los estudios que examinan el efecto de la SPM a la ingesta de proteína utilizan suplementos. Sin embargo, hay pocas investigaciones que hayan estudiado estos efectos de la ingesta de proteína a través de alimentos. Symons y colaboradores (2009) compararon la respuesta al consumo de diferentes cantidades de carne en reposo y reportaron un aumento de la SPM, pero no hubo diferencias entre la ingesta de carne con 30 vs. 90 g de proteína en adultos jóvenes o mayores (Symons et al., 2009). Posteriormente, Robinson et al. (2013) reportaron que la SPM no aumentó con la ingesta de carne que contenía 12 ó 24 g de proteína en reposo o después de ejercicio de fuerza. Sin embargo, la ingesta de 36 g de proteína de carne produjo un aumento significativo en la SPM en ambas situaciones (Robinson et al., 2013). Hasta la fecha, estos estudios aportan la única información disponible sobre la respuesta de la SPM a varias dosis de alimentos ricos en proteína.

RESUMEN Y APLICACIONES PRÁCTICAS

En resumen, la cantidad óptima de proteína a consumir después del ejercicio no debe considerarse como una cantidad única para todos. Solo estamos comenzando a delinear muchos de los factores que influyen en la cantidad óptima de proteína a ingerir para estimular la respuesta máxima a la SPM. Las recomendaciones de los estudios iniciales fueron ingerir entre 20 a 25 g de proteína de alta calidad después del ejercicio en adultos jóvenes. Sin embargo, ahora sabemos que esta cantidad podría ser insuficiente para estimular la respuesta máxima de la SPM en todas las circunstancias y con todos los tipos de proteína. Todavía se necesita una gran cantidad de información para hacer recomendaciones definitivas con relación a la dosis óptima de proteína para la estimulación máxima de la SPM en todas las situaciones y para todas las personas.

- La mejor recomendación sobre la cantidad de proteína a ingerir para estimular al máximo la SPM después de ejercicio solo para pierna (u otras partes aisladas del cuerpo), en varones jóvenes saludables es de 20-25 g ó ~0.25 g/kg de proteína de alta calidad, como la de suero de leche o de huevo. Cantidades mayores no estimulan más la SPM, pero sí aumentan la oxidación de aminoácidos.

- Los varones jóvenes que participan en ejercicio de fuerza para el cuerpo entero deben consumir hasta 40 g de proteína de alta calidad para estimular la SMP al máximo.
- Los adultos mayores deben consumir más de 20 g y hasta 40 g de proteína de alta calidad después de ejercicio solo de pierna. Sin embargo, en vista de que el ejercicio de todo el cuerpo aumenta más la demanda de aminoácidos provenientes de las proteínas, se podrían requerir incluso cantidades superiores para estimular la SPM al máximo.
- Se necesita más proteína si la composición de aminoácidos de la proteína es inferior a la ideal, es decir, con menos cantidades de leucina y posiblemente de otros aminoácidos esenciales, como ocurre con la mayoría de las proteínas vegetales.
- En la actualidad no existe suficiente información disponible sobre la respuesta de la SPM a la ingesta de formas de proteína diferentes a los suplementos aislados como para hacer recomendaciones contundentes, ya que se desconoce la cantidad óptima de proteína en forma sólida o consumida en una comida con otros nutrientes. Hasta ahora, la forma más práctica es simplemente extrapolar los resultados de los estudios con proteínas aisladas y apuntar hacia la cantidad de proteína necesaria para estimular la SPM al máximo cuando se consume en forma de suplementos.

REFERENCIAS

- Areta, J.L., L.M. Burke, M.L. Ross, D.M. Camera, D.W. West, E.M. Broad, N.A. Jeacocke, D.R. Moore, T. Stellingwerff, S.M. Phillips, J.A. Hawley, and V.G. Coffey (2013). Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J. Physiol.* 591:2319-2331.
- Atherton, P.J., T. Etheridge, P.W. Watt, D. Wilkinson, A. Selby, D. Rankin, K. Smith, and M.J. Rennie (2010). Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *Am. J. Clin. Nutr.* 92:1080-1088.
- Atherton, P.J., V. Kumar, A.L. Selby, D. Rankin, W. Hildebrandt, B.E. Phillips, J.P. Williams, N. Hiscock, and K. Smith (2017). Enriching a protein drink with leucine augments muscle protein synthesis after resistance exercise in young and older men. *Clin. Nutr.* 36:888-895.
- Biolo, G., S.P. Maggi, B.D. Williams, K.D. Tipton and R.R. Wolfe (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 268:E514-520.
- Biolo, G., K.D. Tipton, S. Klein, and R.R. Wolfe (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am. J. Physiol.* 273:E122-129.
- Breen, L., and S.M. Phillips (2011). Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: Interventions to counteract the 'anabolic resistance' of ageing. *Nutr. Metab.* 8:68.
- Burd, N.A., D.W. West, D.R. Moore, P.J. Atherton, A.W. Staples, T. Prior, J.E. Tang, M.J. Rennie, S.K. Baker, and S.M. 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.
- Chodzko-Zajko, W.J., D.N. Proctor, M.A. Fiatarone-Singh, C.T. Minson, C.R. Nigg, G.J. Salem, and J.S. Skinner (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41:1510-1530.
- Churchward-Venne, T.A., N.A. Burd, C.J. Mitchell, D.W. West, A. Philp, G.R. Marcotte, S.K. Baker, K. Baar, and S.M. Phillips (2012a). Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *J. Physiol.* 590:2751-2765.
- Churchward-Venne, T.A., N.A. Burd, and S.M. Phillips (2012b). Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutr. Metab.* 9:40.
- Churchward-Venne, T.A., L. Breen, D.M. Di Donato, A.J. Hector, C.J. Mitchell, D.R. Moore, T. Stellingwerff, D. Breuille, E.A. Offord, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2014). Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: a double-blind, randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:276-286.
- Cuthbertson, D., K. Smith, J. Babraj, G. Leese, T. Waddell, P. Atherton, H. Wackerhage, P.M. Taylor, and M.J. Rennie (2005). Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *FASEB J* 19:422-424.
- Houston, D.K., B.J. Nicklas, J. Ding, T.B. Harris, F.A. Tylavsky, A.B. Newman, J.S. Lee JS, N.R. Sahyoun, M. Visser, S.B. Kritchevsky, and Health ABC Study (2008). Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 87:150-155.
- Macnaughton, L.S., S.L. Wardle, O.C. Witard, C. McGlory, D.L. Hamilton, S. Jeromson, C.E. Lawrence, G.A. Wallis, and K.D. Tipton (2016). The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiol. Rep.* 4:e12893.
- Moore, D.R., M.J. Robinson, J.L. Fry, J.E. Tang, E.I. Glover, S.B. Wilkinson, T. Prior T, M.A. Tarnopolsky, and S.M. 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.R., J.E. Tang, N.A. Burd, T. Rerечich, M.A. Tarnopolsky, and S.M. Phillips (2009b). Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise. *J. Physiol.* 587:897-904.
- Moore, D.R., T.A. Churchward-Venne, O. Witard, L. Breen, N.A. Burd, K.D. Tipton, and S.M. Phillips (2015). Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 70:57-62.
- Pennings, B., R. Koopman, M. Beelen, J.M. Senden, W.H. Saris, and L.J. van Loon (2011). 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.
- Phillips, S.M., K.D. Tipton, A. Aarsland, S.E. Wolf, and R.R. Wolfe (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 273:E99-107.
- Reidy, P.T., D.K. Walker, J.M. Dickinson, D.M. Gundermann, M.J. Drummond, K.L. Timmerman, C.S. Fry, M.S. Borack, M.B. Cope, R. Mukherjee, K. Jennings, E. Volpi, and B.B. Rasmussen (2013). Protein blend ingestion following resistance exercise promotes human muscle protein synthesis. *J. Nutr.* 143:410-416.
- Robinson, M.J., N.A. Burd, L. Breen, T. Rerечich, Y. Yang, A.J. Hector, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2013). Dose-dependent responses of myofibrillar protein synthesis with beef ingestion are enhanced with resistance exercise in middle-aged men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 38:120-125.
- Schoenfeld, B.J., A.A. Aragon, and J.W. Krieger (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 10:53.
- Symons, T.B., M. Sheffield-Moore, R.R. Wolfe, and D. Paddon-Jones (2009). A moderate serving of high-quality protein maximally stimulates skeletal muscle protein synthesis in young and elderly subjects. *J. Am. Diet. Assoc.* 109:1582-1586.
- Tang, J.E., D.R. Moore, G.W. Kujbida, M.A. Tarnopolsky, and S.M. 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.
- van Vliet, S., N.A. Burd, and L.J. van Loon (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *J. Nutr.* 145:1981-1991.
- Volianitis, S., and N.H. Secher (2002). Arm blood flow and metabolism during arm and combined arm and leg exercise in humans. *J. Physiol.* 544:977-984.
- Volpi, E., M. Sheffield-Moore, B.B. Rasmussen, and R.R. Wolfe (2001). Basal muscle amino acid kinetics and protein synthesis in healthy young and older men. *J. Am. Med. Assoc.* 286:1206-1212.
- West, D.W., N.A. Burd, V.G. Coffey, S.K. Baker, L.M. Burke, J.A. Hawley, D.R. Moore, T. Stellingwerff, and S.M. Phillips (2011). Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 94:795-803.

- Witard, O.C., S.R. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby, and K.D. 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.
- Witard, O.C., C. McGlory, D.L. Hamilton, and S.M. Phillips (2016a). Growing older with health and vitality: a nexus of physical activity, exercise and nutrition. *Biogerontology* 17:529-546.
- Witard, O.C., S.L. Wardle, L.S. Macnaughton, A.B. Hodgson, and K.D. Tipton (2016b). Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. *Nutrients* 8:181.
- Wolfe, R.R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 84, 475-482.
- Yang, Y., L. Breen, N.A. Burd, A.J. Hector, T.A. Churchward-Venne, A.R. Josse, M.A. Tarnopolsky, and S.M. Phillips (2012a). Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *Br. J. Nutr.* 108:1780-1788.
- Yang, Y., T.A. Churchward-Venne, N.A. Burd, L. Breen, M.A. Tarnopolsky, and S.M. Phillips (2012b). Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Tipton, K. (2017). Factors that influence the amount of protein necessary to maximize the anabolic response of muscle following resistance exercise. *Sports Science Exchange* Vol .28, No. 172, 1-7, por Pedro Reinaldo García M.Sc.