



## NUTRICIÓN Y LA RESPUESTA MOLECULAR AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Keith Baar | Departamento de Fisiología y Biología de la Membrana | Universidad de California Davis (CA) | Estados Unidos de América

### PUNTOS CLAVE

- Las ganancias en fuerza y masa muscular pueden mejorarse al optimizar la nutrición.
- Tanto el entrenamiento de fuerza como ingerir una comida rica en aminoácidos resulta en un aumento en la síntesis de proteínas.
- El incremento en la síntesis de proteínas en ambos casos depende de una proteína-quinasa llamada el objetivo de rapamicina en células de mamífero (mTOR, por sus siglas en inglés).
- El entrenamiento de fuerza y el consumo de aminoácidos (comer) activan mTOR en diferentes formas. Como resultado, cuando ambos se llevan a cabo juntos, los efectos se suman y resultan en un efecto mayor que el entrenamiento de fuerza o el consumo de aminoácidos por sí solos.
- Las proteínas que resultan en un rápido y prolongado (~1 hora) incremento del aminoácido leucina en la sangre llevan al máximo la activación de mTOR y el aumento en la síntesis de proteína muscular y de la fuerza.
- Se presenta una estrategia nutricional sencilla que puede usarse para llevar al máximo la respuesta de adaptación al entrenamiento de fuerza.

### INTRODUCCIÓN

Por miles de años, hemos entendido el principio básico de sobrecargar al músculo para incrementar la fuerza. El primer ejemplo de este principio fue Milo de Croton. Milo era un granjero y un luchador Olímpico. Al inicio de cada ciclo de entrenamiento olímpico, elegía un becerro de su manada y realizaba sus ejercicios matutinos con el becerro sobre sus hombros. Así mientras el becerro crecía, la fuerza de Milo también iba en aumento. Cuando los Juegos Olímpicos llegaban, se decía que cargaba al toro ya completamente desarrollado sobre sus hombros al estadio, lo lanzaba al suelo y se lo comía. Esta fábula es una ilustración de que lo que ahora conocemos ha cambiado muy poco en 2500 años: para aumentar la fuerza necesitamos realizar ejercicio de fuerza y luego consumir proteína de alta calidad.

A lo largo de los últimos 2000 años, se ha realizado una gran cantidad de progreso en el entendimiento de cómo el entrenamiento de fuerza y la nutrición trabajan juntos para incrementar la masa muscular y la fuerza. Este artículo de Sports Science Exchange revisará esa información e ilustrará cómo utilizarla para mejorar la adaptación al entrenamiento.

### RESPUESTA MOLECULAR AL ENTRENAMIENTO

En cada modelo científico de hipertrofia muscular, desde ratones a ratas, conejos, pollos y, finalmente a humanos, la primera respuesta a una sesión de entrenamiento de fuerza es un incremento en la síntesis de proteína. Si el incremento en la síntesis de proteína es mayor que el incremento en la degradación muscular, el músculo se hará más grande y fuerte con el tiempo.

Durante la última década, los fisiólogos moleculares del ejercicio han demostrado que el regulador individual más importante de este incremento inducido por el entrenamiento en la síntesis de proteína muscular es el objetivo de rapamicina en células de mamíferos, o mTOR. Si se da a los seres humanos el inmunosupresor de la rapamicina (bloquea mTOR) antes de realizar su entrenamiento de fuerza, no hay un aumento en la síntesis

de proteína (Drummond et al., 2009). Esto demuestra que mTOR es necesario para el aumento en la síntesis de proteína muscular después del ejercicio de fuerza. En apoyo a la importancia de mTOR, la fosforilación de la proteína S6K (un marcador de la actividad de mTOR) 30 minutos después del entrenamiento de fuerza es el mejor predictor del aumento de la masa muscular y de la fuerza que un atleta logrará (Figura 1, Terzis et al., 2008). A pesar de que detrás del crecimiento muscular hay más que la activación de mTOR, los entrenadores y atletas deben estar tratando de aumentar la actividad de mTOR tanto como sea posible.

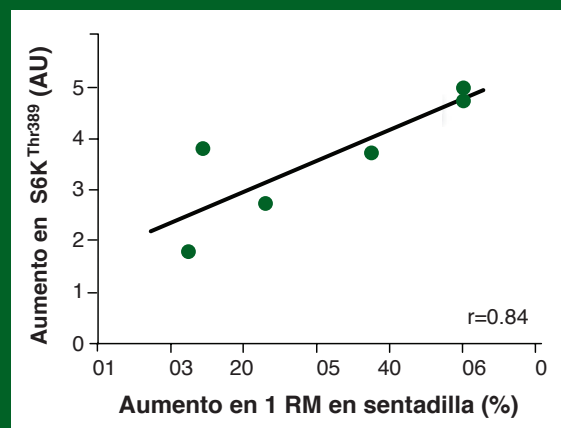


Figura 1. La relación entre la actividad de mTOR y las ganancias en fuerza. La actividad de mTOR (medida al determinar la fosforilación Thr389 de S6K) 30 minutos después del entrenamiento de fuerza está directamente relacionado con el incremento en la fuerza en sentadilla después de 14 semanas de entrenamiento. Esto sugiere que la actividad de mTOR juega un papel en el crecimiento muscular. Adaptado de (Terzis, et al., 2008).

Si la activación de mTOR es una clave para aumentar la fuerza, entonces el conocimiento de cómo activar al máximo esta enzima es importante para optimizar nuestro entrenamiento. Para ello, entender qué activa o desactiva a mTOR es primordial, y a partir de una serie de excelentes estudios científicos, esto se está volviendo más claro.

Al principio, se creía que la única manera de aumentar la actividad de mTOR era a través de factores de crecimiento como el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1). Dos resultados apoyaron esto: 1) tanto la insulina como el IGF-1 aumentaron la actividad de mTOR y esto resultó en un aumento en la síntesis de proteínas (Coleman et al., 1995), y 2) después del ejercicio de fuerza hubo un aumento en la producción de IGF-1 en el músculo (McKoy et al., 1999). A partir de estos datos, se creía que el ejercicio de fuerza aumentaba la producción de IGF-1 y esto conducía al aumento de la síntesis de proteínas. Ahora sabemos que esto era incorrecto y que mTOR se activa directamente por la carga mecánica sobre el músculo y que el IGF-1 juega un papel muy pequeño en el incremento en la masa muscular inducido por la carga (Philp et al., 2011).

Pero la carga en un músculo no es la única cosa que conduce a la activación de mTOR. Aunque es cierto que mientras más pesada sea la carga que una persona levanta, mayor será la activación de mTOR (Baar y Esser, 1999; Terzis et al., 2010), ahora se hace evidente que hay algo más. Cuando se levanta un peso más ligero y el flujo de sangre al músculo está restringido (Fujita et al., 2007) o se levanta cualquier peso hasta la falla muscular (Mitchell et al., 2012), la actividad de mTOR y la síntesis de proteínas se activan. Por lo tanto, ahora se cree que la actividad de mTOR se aumenta al máximo por los ejercicios de fuerza realizados al fallo muscular. Hay dos tipos de fallos en el entrenamiento de fuerza. El fallo positivo, cuando un atleta ya no puede levantar un peso, y el fallo negativo, cuando el entrenador levanta el peso por el atleta para que él lo baje y ya no pueden frenar el peso mientras baja.

### NUTRICIÓN PARA LLEVAR EL ENTRENAMIENTO AL MÁXIMO

Pero el aumento de la actividad de mTOR levantando pesos pesados no es suficiente. Si un atleta entrena en un estado de ayuno, el aumento en la actividad de mTOR y en la síntesis de proteínas no es óptima. De hecho, en estado de ayuno, el balance de proteína (síntesis de proteína menos la degradación de proteína) permanece negativo después del entrenamiento (Figura 2). Con el fin de activar al máximo a mTOR y a la síntesis de proteínas y llevar al músculo a un balance positivo de proteínas no sólo necesitamos la activación mecánica, sino también el consumo de aminoácidos.

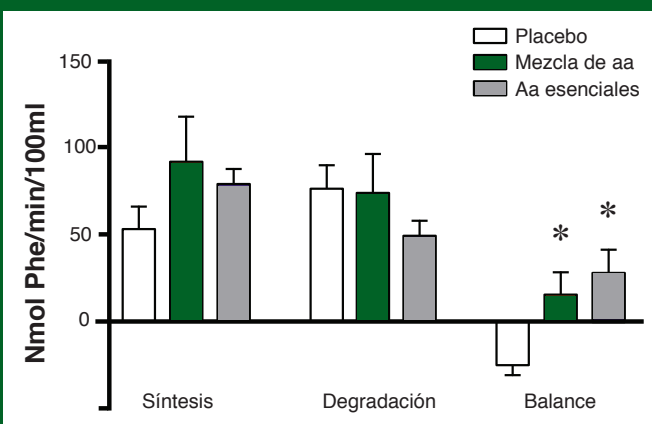


Figura 2. Los aminoácidos (aa) esenciales se requieren para un balance positivo de proteína. El efecto de consumir un placebo o una bebida que contiene todos los aminoácidos, o solamente los aminoácidos esenciales (aa) y arginina sobre la síntesis de proteína, la degradación de proteína y el balance neto de proteína después de ejercicio de fuerza en estado de ayuno. El eje "y" es una medida de la tasa de síntesis o degradación de proteína, y el balance resultante. Adaptado de (Tipton et al., 1999). Phe = fenilalanina

Los aminoácidos sirven para dos propósitos en el músculo. El primero es para suministrar los bloques necesarios para sintetizar nuevas proteínas y el segundo es para proporcionar un disparador de señalización que activa mTOR.

A pesar de que todos los aminoácidos son necesarios para sintetizar nuevas proteínas, sólo una es necesario para activar mTOR. Este aminoácido único es el aminoácido de cadena ramificada leucina. La razón por la que la leucina es tan importante es que las células musculares contienen un sensor para detectar los niveles de leucina. Este sensor de aminoácidos activa mTOR a través de una colección de proteínas de transporte llamadas las proteínas Rag, las cuales llevan a mTOR junto con su activador Rheb. Por lo tanto, cuando la leucina entra en las células musculares, activa a las proteínas Rag y traslada mTOR a Rheb, y esto a su vez activa mTOR, aumenta la síntesis de proteínas y hace músculos más grandes y fuertes.

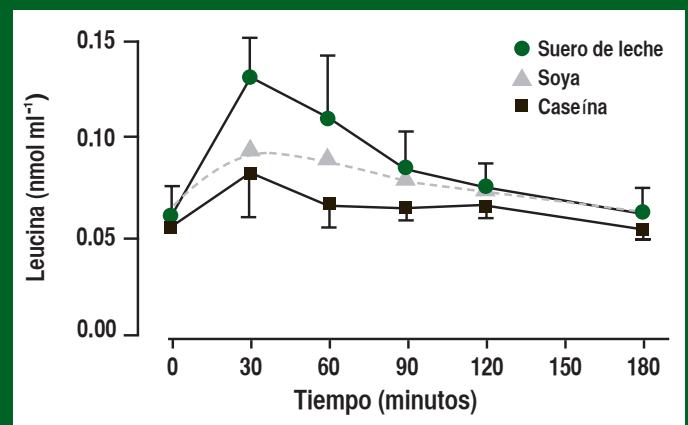


Figura 3. Concentración de leucina en sangre después de beber una cantidad isonitrogenosa de suero, soya o caseína. Beber una solución de proteína de suero resulta en un aumento mayor, más rápido y prolongado en la concentración de leucina en sangre. Adaptado de (Tang et al., 2009).

Si la leucina juega un papel importante en la activación de mTOR, entonces nutricionalmente es importante entender cómo diferentes fuentes de proteínas afectan la cantidad de leucina entregada al músculo. Un trabajo del laboratorio de Stuart Phillips (Tang et al., 2009) ha demostrado que se libera más leucina en la sangre y que la concentración de leucina se mantiene más alta por un período de tiempo más largo cuando un atleta consume suero de leche en comparación con soya o caseína (Figura 3).

Como se esperaría a partir de lo que se ha discutido hasta ahora, los niveles más elevados de leucina resultaron en un aumento significativamente mayor en la síntesis de proteína muscular tanto en reposo como después del ejercicio de fuerza (Figura 4). Aun más importante, los investigadores dieron seguimiento a estos individuos a lo largo del entrenamiento y ahora han demostrado que los atletas que tomaron un suplemento de suero de leche justo después de que entrenaron también tuvieron el mayor aumento de la masa muscular (Tang et al., 2009).

## RECOMENDACIONES BASADAS EN LA CIENCIA PARA EL ENTRENAMIENTO PARA OPTIMIZAR LA ACTIVACIÓN DE MTOR Y LAS GANANCIAS DE FUERZA

Teniendo toda esta información junta, se puede idear un plan sencillo para aumentar la actividad de mTOR, la síntesis de proteína y la fuerza muscular (Figura 5).

1. Para llevar al máximo las ganancias de fuerza, los atletas deben levantar pesas pesadas hasta la falla. Esto se puede hacer usando una serie o más de cada ejercicio. Si se utiliza una serie, el atleta necesita estar levantando el 100% de su 8RM hasta el fallo. Cada serie adicional añade poco al aumento final de la fuerza ya que por cada serie extra, el porcentaje de 8RM disminuye y el fallo sólo se logra en la serie final. Esta es la razón por la que las ganancias de fuerza obtenidas usando una serie son iguales que las de múltiples series. (Mitchell et al., 2012).
2. Inmediatamente después del ejercicio de fuerza, consumir una fuente de proteína rápidamente absorbible rica en el aminoácido leucina. Algunos ejemplos de estos tipos de alimentos son los productos lácteos (específicamente por el componente de suero de leche) y los huevos. La obtención de leucina rápidamente en la sangre toma ventaja del elevado contenido de LAT1 en la membrana posterior al ejercicio.
3. En las 24 h posteriores al ejercicio de fuerza, comer alimentos que contienen 20 g de aminoácidos ricos en leucina en la primera hora de la mañana y luego cada 3-4 h durante todo el día. Veinte gramos de aminoácidos activan al máximo la síntesis de proteínas en los jóvenes (Moore et al., 2009).
4. Consumir 30-40 g de proteína rica en leucina justo antes de ir a dormir. Comer antes de acostarse mejora la síntesis de proteínas durante el sueño y mantiene un equilibrio positivo de proteína durante la noche (Res et al., 2012).

El programa anterior es probable que lleve al máximo las ganancias de fuerza. Este artículo se ha centrado en el papel de mTOR en la ganancia de fuerza, pero este no es el único factor importante. La masa muscular también se ve influenciada por el inhibidor de crecimiento miostatina, el regulador transcripcional Notch y el número de células satélite en el músculo. Sin embargo, cómo estos factores afectan el tamaño del músculo y la fuerza y si se ven afectadas por la nutrición es más incierto.

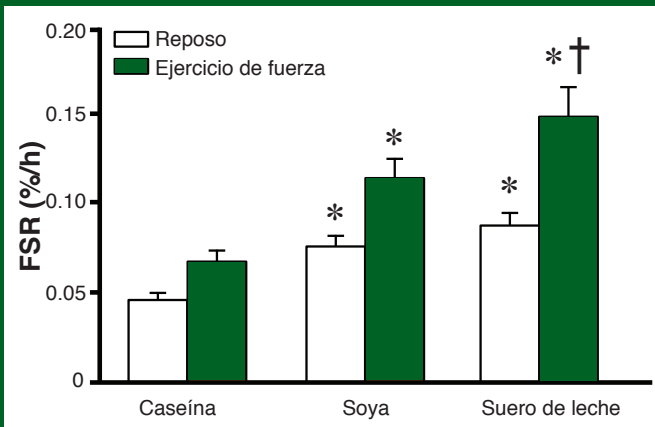


Figura 4. Efecto del consumo de una bebida que contiene caseína, soya o suero de leche sobre la síntesis de proteína (FSR, tasa sintética fraccional por sus siglas en inglés) en reposo y posterior al ejercicio de fuerza. Adaptado de (Tang et al., 2009)

La leucina no puede entrar en el músculo sin un transportador. El principal transportador de leucina en el músculo esquelético es el transportador de aminoácidos tipo L, LAT1 (también conocido como SLC7A5). Con el fin de aumentar la actividad de mTOR y la síntesis de proteínas LAT1 necesita aumentar en la membrana plasmática. La evidencia actual sugiere que inmediatamente después del entrenamiento de fuerza, aumenta LAT1 en la membrana durante un corto período de tiempo (~90 min). Sin embargo, el RNAm de LAT1 permanece alto durante al menos 24 h (Churchward-Venne et al, 2012; y Baar et al, no publicado). Estos hechos podrían explicar dos cosas: 1) porqué tomar aminoácidos inmediatamente después del ejercicio de fuerza es la forma más eficaz para aumentar la síntesis de proteína muscular (más LAT1 en la membrana para tomar leucina, Esmarck et al., 2001), y 2) porqué el consumo de alimentos ricos en aminoácidos tiene un mayor efecto sobre la síntesis de proteína muscular durante 24 h después de una sesión pesada de pesas (más RNAm que se puede utilizar para aumentar LAT1 y la captación de leucina, Burd et al., 2011).

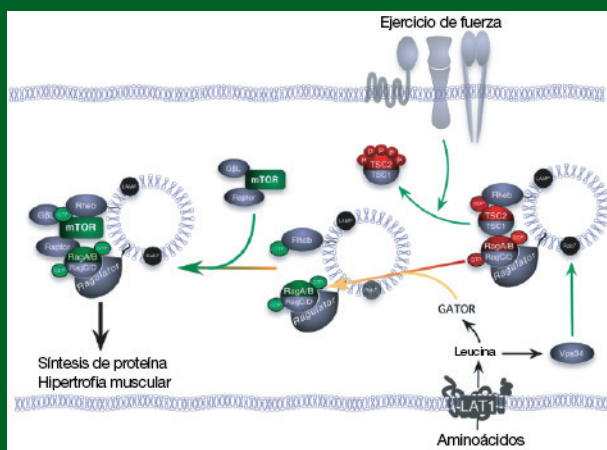


Figura 5. Esquema que muestra la activación de mTOR posterior al ejercicio de fuerza. Primero, el ejercicio de fuerza activa un mecanorreceptor desconocido que fosforila y mueve al inhibidor de mTOR (el complejo de esclerosis tuberosa, TSC2) lejos del activador del mTOR (Rheb). Segundo, los aminoácidos de la dieta se absorben a través de los transportadores dentro del músculo. Estos aminoácidos activan la familia Rag de pequeñas proteínas G. Las proteínas Rag atrapan físicamente a mTOR, a través de su raptor pareja de unión, y lo mueven a Rheb. Tercero, cuando mTOR está junto con una forma activa de Rheb se enciende y puede activar la síntesis de proteínas. Por esto, cuando un atleta hace ejercicio de fuerza seguido del consumo de proteína, hay más actividad de mTOR y de la síntesis de proteínas.

## REFERENCIAS

- Baar K & Esser K. (1999). Phosphorylation of p70(S6k) correlates with increased skeletal muscle mass following resistance exercise. *Am J Physiol* 276, C120- 127.
- Burd NA, West DW, Moore DR, Atherton PJ, Staples AW, Prior T, Tang JE, Rennie MJ, Baker SK & Phillips SM. (2011). Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *The Journal of nutrition* 141, 568-573.
- Churchward-Venne TA, Burd NA, Mitchell CJ, West DW, Philp A, Marcotte GR, Baker SK, Baar K & Phillips SM. (2012). 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. *The Journal of physiology*.
- Coleman ME, DeMayo F, Yin KC, Lee HM, Geske R, Montgomery C & Schwartz RJ. (1995). Myogenic vector expression of insulin-like growth factor I stimulates muscle cell differentiation and myofiber hypertrophy in transgenic mice. *J Biol Chem* 270, 12109-12116.
- Drummond MJ, Fry CS, Glynn EL, Dreyer HC, Dhanani S, Timmerman KL, Volpi E & Rasmussen BB. (2009). Rapamycin administration in humans blocks the contraction-induced increase in skeletal muscle protein synthesis. *J Physiol* 587, 1535-1546.
- Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M & Kjaer M. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 535, 301-311.
- Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, Volpi E & Rasmussen BB. (2007). Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* (1985) 103, 903-910.
- McKoy G, Ashley W, Mander J, Yang SY, Williams N, Russell B & Goldspink G. (1999). Expression of insulin growth factor-1 splice variants and structural genes in rabbit skeletal muscle induced by stretch and stimulation. *J Physiol* 516 ( Pt 2), 583-592.
- Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, Burd NA, Breen L, Baker SK & Phillips SM. (2012). Resistance exercise load does not determine training- mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* (1985) 113, 71-77.
- Moore DR, Robinson MJ, Fry JL, Tang JE, Glover EI, Wilkinson SB, Prior T, Tarnopolsky MA & Phillips SM. (2009). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *The American journal of clinical nutrition* 89, 161-168.
- Philp A, Hamilton DL & Baar K. (2011). Signals mediating skeletal muscle remodeling by resistance exercise: PI3-kinase independent activation of mTORC1. *J Appl Physiol* (1985) 110, 561-568.
- Res PT, Groen B, Pennings B, Beelen M, Wallis GA, Gijsen AP, Senden JM & van Loon LJ. (2012). Protein Ingestion Prior To Sleep Improves Post-Exercise Overnight Recovery. *Medicine and science in sports and exercise*.
- Tang JE, Moore DR, Kujbida GW, Tarnopolsky MA & Phillips SM. (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* (1985) 107, 987-992.
- Terzis G, Georgiadis G, Stratakos G, Vogiatzis I, Kavouras S, Manta P, Mascher H & Blomstrand E. (2008). Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. *Eur J Appl Physiol* 102, 145-152.
- Terzis G, Spengos K, Mascher H, Georgiadis G, Manta P & Blomstrand E. (2010). The degree of p70 S6k and S6 phosphorylation in human skeletal muscle in response to resistance exercise depends on the training volume. *European journal of applied physiology* 110, 835-843.
- Tipton KD, Gurkin BE, Matin S & Wolfe RR. (1999). Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem* 10, 89-95.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Baar, K. (2014). Nutrition and the molecular response to strength training. *Sports Science Exchange* 123, Vol. 27, No. 115, 1-4, por L.N. Nidia Rodríguez Sánchez.