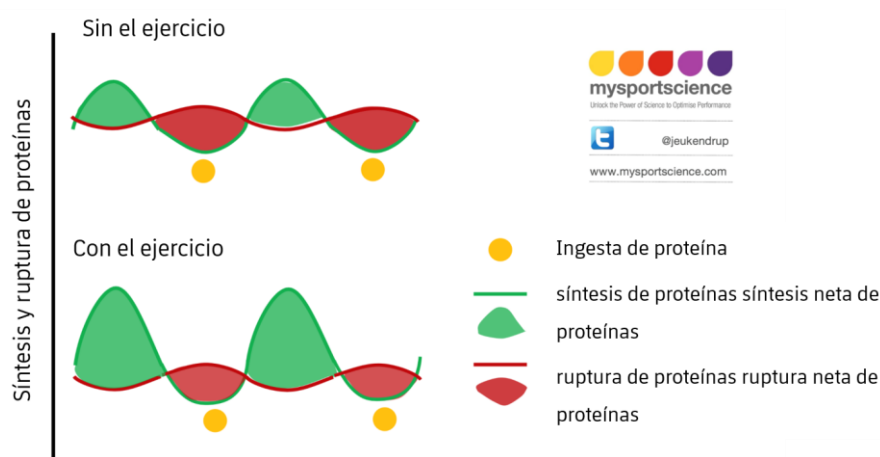


3.2 Optimización de la síntesis de proteínas (142)

3.2.1 Optimización de la síntesis de proteínas

En condiciones de reposo, las concentraciones más altas de aminoácidos en plasma tienen un efecto estimulante sobre la síntesis de proteínas (Bennet y cols. 1990, 1991). Inmediatamente después del ejercicio, este efecto de mayor disponibilidad de aminoácidos en la síntesis de proteínas es exagerado en comparación con la condición de reposo (Biolo y cols. 1997.). Los aminoácidos y el ejercicio parecen tener un efecto aditivo sobre la síntesis de proteínas netas. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en estos primeros estudios, los aminoácidos se infundieron y las concentraciones plasmáticas de aminoácidos se elevaron a niveles extremadamente altos (mucho más altos que los que se observaron después de la ingesta oral de mezclas de aminoácidos o proteínas). La infusión intravenosa no es un método práctico para los deportistas, y los aminoácidos infundidos sortean el hígado. Por lo general, el hígado extrae más del 20 % y hasta el 90 % de todos los aminoácidos después de la absorción desde el intestino (un fenómeno conocido como extracción gástrica de primer paso). Por lo tanto, no está claro si se esperan efectos similares después de la ingesta oral de aminoácidos. En un estudio de seguimiento, se investigó esta cuestión (Tipton y cols. 1999). En este estudio, se ingirió una cantidad relativamente grande de aminoácidos después del ejercicio de carga. Después del ejercicio, el balance de proteínas musculares fue negativo luego de la ingesta del placebo; sin embargo, al ingerir aminoácidos, el balance neto fue positivo, principalmente a causa del aumento de la síntesis de proteínas musculares. A partir de este estudio y de un número limitado de otros estudios, se puede concluir que la ingesta de aminoácidos o proteínas después del ejercicio mejora la síntesis de proteínas netas. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Figura 4: La síntesis y la ruptura de proteínas son procesos continuos



Fuente: Jeukendrup, en mysportscience.com. La síntesis y la ruptura de proteínas son procesos continuos. Después de la alimentación, se estimula la síntesis de proteínas. Después de unas horas, esto vuelve a la ruptura de la proteína neta, de modo que las proteínas de todo el organismo están en equilibrio. Con el ejercicio y la alimentación, la síntesis de proteínas aumenta más que la ruptura de las proteínas y se produce un incremento neto de proteínas. De mysportscience.com.

La adaptación es el proceso a mayor plazo que tiene lugar cuando el estrés del entrenamiento produce señales que desencadenan una cascada de reacciones que finalmente generan aumentos en la síntesis de proteínas netas. Con el tiempo, los pequeños aumentos repetidos en la síntesis de proteínas específicas generarán una función mejorada. Con la nutrición podemos influir en las señales y, potencialmente, mejorarlas de modo que haya más estímulos para la síntesis de proteínas (esto se analizará en las secciones sobre nutrición periodizada). Sin embargo, el proceso de síntesis de proteínas depende en gran medida de la nutrición en sí misma, especialmente de la ingesta de proteínas, que también es importante. Aquí analizaremos cómo podemos mejorar la síntesis neta de proteínas musculares. Analizaremos la cantidad óptima de proteínas, el momento oportuno de la ingesta, el tipo de proteína que se debe ingerir y si hay otros nutrientes que mejoren o perjudiquen el proceso, entre otras cosas.

Cantidad de proteína

Comencemos con un hecho importante: a diario, la mayoría de los deportistas exceden incluso las recomendaciones más altas para la ingesta de proteínas. Esto hace que la discusión sobre los requisitos diarios de proteínas sea principalmente una discusión académica con poca relevancia práctica (Tipton y Witard, 2007). Sin embargo, las preguntas sobre la cantidad de proteína que debe tener cada comida para optimizar la síntesis de proteínas siguen siendo muy pertinentes (este punto también se analizará en la sección sobre el momento de la ingesta).

Uno de los primeros estudios de Bohe Low, Wolfe y Rennie (2003) demostró que las concentraciones de aminoácidos extracelulares y no intracelulares son importantes para la tasa de síntesis de proteínas. La ingesta de proteínas aumenta las concentraciones de aminoácidos extracelulares; sin embargo, parece que hubiese una meseta por encima de la cual la síntesis de proteínas no se estimula más. Esto se convirtió en la base de una serie de excelentes estudios para ver cuál es la cantidad óptima de proteínas para una sola comida. En otras palabras: ¿cuánta proteína debe ingerirse antes de alcanzar esta «meseta» en la síntesis de proteínas? En un estudio muy citado de Moore y cols. (Moore y cols., 2009) se comparó la ingesta de 5, 10, 20 y 40 g de proteína después de un ejercicio de carga. Durante las cuatro horas posteriores, se midió la síntesis de proteínas. El estudio sugirió que 20 g eran mejores que 10 g, y que 10 g eran mejores que 5 g. Sin embargo, la ingesta de 40 g de proteínas tuvo efectos muy similares a la ingesta de 20 g. Sobre la base de estos resultados, suele recomendarse una ingesta de alrededor de 20 g de proteína por comida. No hace falta más que eso. Otros estudios han obtenido resultados similares: se necesitarían de 20 a 25 g de proteína, o de 8 a 10 g de aminoácidos esenciales para optimizar la síntesis de proteínas (Moore y cols., 2009; Symons, Sheffield-Moore, Wolfe y Paddon-Jones, 2009; Witard y cols., 2014), independientemente del estado de entrenamiento (Witard y cols., 2014). La ingesta de grandes cantidades de proteínas no estimula más la síntesis de proteínas musculares (Moore y cols., 2009; Witard y cols., 2014). Para estos estudios, se utilizó proteína de suero de leche como la fuente de la proteína, pero se obtuvieron resultados similares al usar alimentos enteros (carne molida magra) en hombres y mujeres jóvenes (Symons y cols., 2009). En este estudio, una cantidad moderada (~30 g de proteína) fue tan efectiva como una cantidad alta (~90 g de proteína) para estimular la síntesis de proteínas musculares (Symons y cols., 2009). (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>). Un exceso de proteína generará mayores tasas de oxidación de proteínas (Moore y cols., 2009; Witard, 2014) y un aumento de la producción de urea (Witard y cols., 2014). Estos hallazgos en conjunto indican que existe un límite en la tasa a la que los aminoácidos pueden utilizarse para la síntesis de proteínas musculares. Esto a veces se denomina «efecto de músculo completo» (Atherton y cols., 2010) (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).

Moore y cols. (2015) llevaron a cabo un análisis de regresión de todos los estudios de dosis-respuesta existentes y llegaron a una estimación de la dosis de proteína que se expresa:

por kilogramo de peso corporal. Se concluyó que la dosis de proteína más allá de la cual no había un aumento adicional en la síntesis de proteínas musculares en

hombres jóvenes era de 0.325 g/kg de peso corporal por comida. Para dar cuenta de la variabilidad de un individuo a otro, propusieron la adición de dos desviaciones estándar a esta estimación, lo que dio como resultado una dosis óptima de proteína de 0.4 g/kg de peso corporal por comida (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).

Hasta ahora, este mensaje parece coherente y directo y también se ha adoptado en los deportes universalmente.

Sin embargo, también es importante ser crítico y tener en cuenta cómo se obtuvieron estos resultados. Si bien estos estudios se llevaron a cabo cuidadosamente y mediante técnicas ampliamente validadas, tienen algunas limitaciones. Por lo general, se realizan con ejercicios de resistencia en un grupo muscular reducido, y se toman biopsias musculares de este grupo muscular reducido (por ejemplo, m. vasto lateral) antes y después de un período de cuatro a cinco horas. La síntesis de proteínas se calcula a partir de los aminoácidos incorporados en este grupo muscular. Los grupos musculares que han estado inactivos verán una incorporación escasa o nula de aminoácidos en este período.

Un estudio reciente de Macnaughton y cols. (Macnaughton y cols., 2016), sostuvo que cuando se trata de una masa muscular mayor (como sería el caso de la mayor parte de los deportistas y la mayor parte de las situaciones prácticas), pueden necesitarse mayores cantidades de proteínas para lograr las tasas óptimas de síntesis de proteínas. Sus sujetos hicieron ejercicios de carga con todos los principales grupos musculares, luego se hicieron las mismas mediciones. Hubo dos observaciones principales:

La primera fue que la síntesis de proteínas fue menor en este estudio que en estudios anteriores. Esto posiblemente sea porque la misma cantidad de proteína ahora tenía que compartirse con una mayor masa muscular. En segundo lugar, se observó que la ingesta de 40 g de proteínas daba como resultado una mayor síntesis de proteínas que 20 g de proteínas. Esto, por supuesto, contrasta con los estudios anteriores. Los autores analizan la posibilidad de que al entrenar grupos de músculos más grandes, se requiera más proteína. (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).

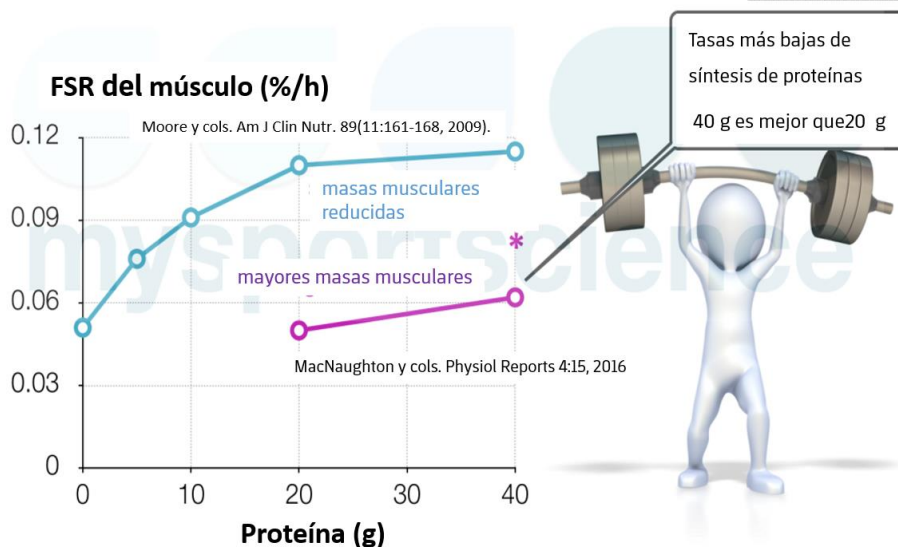
Debido a que este es solo un estudio, tendremos que ver cómo se desarrollan las directrices en el futuro, pero es posible que las directrices tengan que adaptarse hacia un nivel superior si hay más estudios que demuestren que, con el entrenamiento de grandes grupos musculares,

una mayor ingesta de proteínas proporcionará mejores resultados (Jeukendrup, 2016a).

Figura 5: ¿Cuánta proteína se necesita para incrementar la tasa de síntesis fraccional (FSR) del músculo?

¿Cuánta proteína?

Estudios realizados con mayores masas musculares:



La tasa de síntesis fraccional (FSR) del músculo en dos estudios (Jeukendrup A. E., 2016a). En azul, Moore y cols. (Moore y cols., 2009) y en morado, Macnaughton y cols. (Macnaughton y cols., 2016).

Fuente: Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>

En masas musculares más reducidas, la FSR fue mayor; sin embargo, se estabilizó después de aproximadamente 20 g de proteína ingerida. El entrenamiento de una mayor masa muscular dio como resultado valores de FSR más bajos; sin embargo, al duplicar la ingesta de proteínas, se incrementó aún más la FSR (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Tipos de proteínas

No todas las proteínas son iguales. La composición de aminoácidos y las propiedades digestivas de las proteínas pueden variar muchísimo, lo que puede influir en la distribución de aminoácidos y la síntesis de proteínas. A menudo, las proteínas se clasifican como rápidas o lentas (según la velocidad con que las proteínas se digieren y con que sus aminoácidos se absorben). Boirie y colegas (Boirie y cols., 1997) quizá fueron los primeros en comparar las proteínas rápidas y lentas. Compararon la proteína de suero de leche con la proteína de soja o de caseína, que son

las tres fuentes de proteína aislada que más se consumen. Tanto la caseína como el suero de leche son derivados de la leche entera, mientras que la soja es un derivado vegetal.

Alrededor del 80 % de la proteína láctea es caseína y el 20 % restante es suero de leche. El suero de leche y la soja son proteínas rápidas, ya que el organismo las digiere y absorbe con relativa rapidez, lo que produce un aumento súbito de las concentraciones de aminoácidos en la sangre. La caseína, por otro lado, es una proteína lenta: demora más en degradarse y absorberse. (Jeukendrup A., & Gleeson, 2018).

La caseína tiende a coagularse en el estómago y lentifica el vaciamiento gástrico. Dadas las diferencias de velocidad de entrega y de composición, el suero de leche, la soja y la caseína varían en la velocidad de la síntesis de proteínas.

En una serie de estudios sobre levantadores de pesas en el laboratorio del profesor Stuart Phillips, se encontró que la proteína láctea produce mayor velocidad de síntesis de proteínas y un mayor aumento de la masa muscular a diferencia de la proteína de soja (Hartman, 2007; Wilkinson, 2007). Cabe destacar que, aun así, una proteína óptima en una condición puede no serlo en todas las condiciones.

Las proteínas rápidas como el suero de leche y la soja causan un mayor aumento de la síntesis de proteínas musculares, pero la velocidad de síntesis de proteínas disminuye más rápido que con la caseína (Tang y cols., 2009). La síntesis de proteínas en el organismo se estimula más con la proteína de suero de leche, mientras que la degradación de proteínas en el organismo se reprime con la ingesta de caseína (Boirie y cols., 1997). Tras la ingesta de proteína aislada de suero de leche, soja y caseína (que proporcionan 10 g de aminoácidos esenciales), el aumento de la síntesis de proteínas musculares durante las siguientes 3 h fue mayor con la proteína de suero de leche (Tang, Moore, Kujbida, Tarnopolsky y Phillips, 2009). Curiosamente, la proteína de soja tuvo mayor síntesis de proteínas musculares que la caseína (Tang y cols., 2009). Por tanto, al parecer, la fuente de proteína más eficaz es el suero de leche, seguido de la soja y la caseína, respectivamente.

Uno de los factores más importantes que condiciona la respuesta anabólica es la cantidad del aminoácido leucina. La leucina es fundamental para la proteína y es, además, una molécula de señalización para estimular las vías de iniciación de la traducción, lo que provoca un incremento de la velocidad de síntesis de proteínas (K. D. Tipton, Ferrando, Phillips, Doyle y Wolfe, 1999). Sin ahondar en los

mecanismos: la leucina estimula la diana de rapamicina complejo-1 (mTor), una proteína de señalización clave, y activa un aumento de la síntesis de proteínas musculares (McGlory, Devries y Phillips, 2017). Por consiguiente, las proteínas ingeridas con alto contenido de leucina favorecerían el incremento de la síntesis de proteínas musculares. Así, la calidad proteica (reflejada en el contenido de leucina y de aminoácidos esenciales y la digestibilidad proteica) repercute en los cambios en la síntesis de proteínas musculares, lo que puede llegar a afectar la masa muscular esquelética. La proteína de suero de leche contiene 10.0 g de leucina cada 100 g, que es más leucina por gramo que caseína (8.2 g/100 g) o soja (5.9 g/100 g). Los alimentos con un contenido relativamente alto de leucina se muestran en la Tabla 2. Posterior a la ingesta de proteínas con un contenido relativamente alto de leucina como el suero de leche, una gran aminoacidemia rápida puede aumentar la entrega de aminoácidos esenciales y, en particular, de leucina al músculo, hasta un cierto umbral que activa una estimulación de síntesis de proteínas musculares y las vías anabólicas asociadas. (Jeukendrup, & Gleeson, 2018)

Los voluntarios que consumieron 25 g de proteína de suero de leche o solo un cuarto (6.25 g) junto con 5 g de leucina presentaron un incremento de la síntesis de proteínas musculares en descanso, seguido de un período de ejercicio de carga en una medida similar, a pesar de la dosis de proteína cuatro veces más baja (Churchward-Venne y cols., 2014). Al parecer, la leucinemia (y quizás la consiguiente concentración intramuscular de leucina) es la impulsora de la respuesta sintética de proteínas musculares y, por lo tanto, del proceso anabólico durante la recuperación del ejercicio. (Morton, McGlory, & Phillips, 2015, <https://bit.ly/2DKCSB3>).

La cantidad «umbral» de leucina para activar la estimulación de síntesis de proteínas musculares parece ser de ~ 3 g de leucina por comida (Churchward-Venne y cols., 2014), que puede ser el factor principal que condiciona la cantidad recomendada de proteínas por comida: de ~ 25 g o ~ 0.4 g/kg de peso corporal por comida, antes mencionado.

También cabe destacar que la incorporación de los otros dos BCAA, isoleucina y valina, no incrementa aún más la síntesis de proteínas musculares (Churchward-Venne y cols., 2014). Así, es lógico tomar como suplemento solo leucina (o consumir proteínas dietéticas con alto contenido

de leucina), ya que los tres BCAA comparten el mismo transportador, y es probable que el consumo de una mezcla de BCAA produzca antagonismo en la captación desde el intestino al músculo y, por lo tanto, no sería tan eficaz como la leucina sola para estimular la síntesis de proteínas musculares. A pesar de la constante popularidad de los suplementos BCAA entre la población deportista, existen muy pocas pruebas de su eficacia para promover la síntesis de proteínas musculares o ganancias de masa muscular. En la actualidad, se aconseja ingerir proteínas dietéticas intactas con alto contenido de leucina y de rápida digestión. La aminoacidemia más lenta y prolongada que acompaña la ingesta de caseína puede ser más eficaz para mantener la síntesis de proteínas musculares y quizás para atenuar el balance neto negativo de proteínas durante el sueño o períodos más largos, pero se necesitan más estudios para verificarlo. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Tabla 2: Contenido de leucina de diversos alimentos

Alimentos	Cantidad necesaria para proveer 3 g de leucina	Contenido de leucina (g/100kcal)
Proteína de suero de leche aislada	25 g	2.90
Proteína de soja aislada	37 g	2.00
Yogur griego	300 g	1.75
Pechuga de pollo	170 g	1.70
Carne magra	170 g	1.30
Queso	105 g	1.09
Huevo	4 huevos grandes	0.94
Leche descremada	900 ml	0.93
Frijoles rojos	525 g	0.65
Tofu	600 g	0.44
Maní natural	180 g	0.29
Pan	770 g (14 rodajas)	0.07

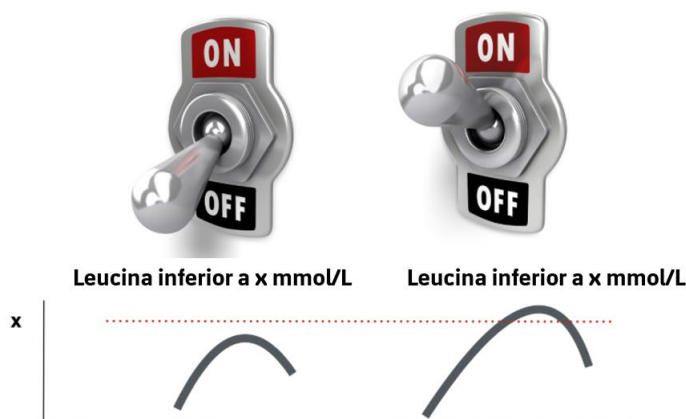
Fuente: Jeukendrup & Gleeson, 2018

«El concepto de la activación con leucina. La proteína que se digiere con mayor rapidez con un contenido relativamente alto de leucina (p. ej., el suero de leche) es la más eficaz para promover aumentos de la síntesis de proteínas musculares»(Jeukendrup & Gleeson, 2018).



Figura 6: Graficación del concepto de activación con leucina

«Concepto disparador de leucina»



Fuente: Jeukendrup, mysportscience.com. Se cree que las concentraciones de leucina en el plasma deben superar un cierto umbral para que la leucina active la síntesis de proteínas a través de la señalización mTor. Se desconoce la concentración necesaria, pero, al parecer, la ingesta de 2 o 3 g de leucina activa la síntesis de proteínas.

La calidad de las proteínas equivale a la puntuación de aminoácidos corregida por digestibilidad proteica (PDCAAS), que es un método para evaluar la calidad de las proteínas basado en las necesidades de aminoácidos y en su habilidad para digerirlos. La calificación PDCAAS fue adoptada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de EE. UU. y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS) en 1993 como el método «preferido» para determinar la calidad de las proteínas. La puntuación máxima de 1.0 significa que tras la digestión de la proteína, proporciona, por unidad de proteína, 100 % o más de los aminoácidos esenciales requeridos. (Schaafsma, 2000, <https://bit.ly/2DPdwCO>)

Sin embargo, el contenido de leucina es quizás más importante que el PDCAAS de una fuente proteica.

Momento oportuno para la ingesta de proteínas

El momento oportuno para el consumo de alimentos luego del ejercicio es importante para el equilibrio entre la



síntesis de proteínas y su degradación. Se ha investigado la ingesta de proteínas justo después del ejercicio, con un retraso de 1 a 3 h o la ingesta antes del ejercicio. En un estudio de Tipton y cols. (Kevin D. Tipton y cols., 2001), los voluntarios ingirieron 6 g de aminoácidos esenciales más 35 g de carbohidratos justo antes de comenzar o justo después de terminar un período de intenso ejercicio de carga para piernas. La captación de aminoácidos fue mayor al ingerir los nutrientes antes del período de ejercicio que al ingerirlos después.

Por lo tanto, estos datos sugieren que la respuesta anabólica al ejercicio y a la ingesta de carbohidratos y aminoácidos podría ser mayor cuando se ingieren antes del ejercicio y no después, tanto si es justo después del ejercicio, 1 h o 3 h después. Es posible, sin embargo, que el diseño del estudio haya afectado los resultados, ya que se usaron aminoácidos esenciales. Cuando el estudio «se repitió con la proteína de suero de leche (y sin carbohidratos), no fue evidente la diferencia entre la alimentación anterior al período de ejercicio de carga y la posterior» (K. D. Tipton y cols., 2007).

Estas diferencias que se observaron pueden estar relacionadas con la entrega de aminoácidos al músculo. La ingesta de aminoácidos libres antes del ejercicio puede provocar un aumento de la entrega de aminoácidos (por el incremento del flujo sanguíneo a los músculos activos durante el ejercicio) y llevar a una captación superior de aminoácidos comparado con la ingesta de aminoácidos posterior al ejercicio. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Además de la entrega de aminoácidos, hay otro factor que puede condicionar la respuesta anabólica. Como se mencionó anteriormente, la leucina puede servir de molécula de señalización y estimular las vías de iniciación de la traducción, lo que incrementa la síntesis de proteínas.

Se sabe que el ejercicio de carga por sí solo da como resultado un aumento duradero de la síntesis de proteínas musculares durante al menos 48 h y la degradación de las proteínas musculares durante 24 h (Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf y Wolfe, 1997). Esto significa que aun en ayunas, hay un incremento posterior de la rotación de proteínas musculares. En ese momento, la degradación de las proteínas musculares superará la síntesis de proteínas

musculares y, así, habrá una pérdida neta de la proteína del tejido. Básicamente, el ejercicio prepara el músculo para que sea más sensible, es decir, ocurre un aumento de la síntesis de proteínas musculares como respuesta a la aminoacidemia posterior a la ingesta de un alimento con contenido proteico. Este incremento de la sensibilidad dura al menos 24 h (Burd y cols., 2011) y quizás hasta 48 h, pero disminuye con el tiempo. Por lo tanto, lo más conveniente es ingerir proteínas y generar hiperaminoacidemia en el período posterior al ejercicio. También se ha propuesto que la ingesta de proteína previa al ejercicio puede preparar el organismo y ser más beneficiosa que una estrategia de suplementación posterior al ejercicio. Sin embargo, la ingesta de 20 g de proteína antes o 1 h después de 10 series de ejercicio de extensión de rodilla produjo ritmos similares de captación de aminoácidos (K. D. Tipton y cols., 2007). En otros estudios, no se demostró ningún beneficio de alimentación con aminoácidos antes del ejercicio (L. M. Burke y cols., 2012; Fujita y cols., 2009), por lo que, según el consenso científico general, lo óptimo es ingerir proteína justo después del período de ejercicio de carga. Además, es posible que la alimentación previa al ejercicio o durante la aminoacidemia pueda mitigar la síntesis de proteínas musculares posterior al ejercicio como respuesta a los aminoácidos, debido a una superposición de las reacciones a la aminoacidemia y el efecto de «músculo completo» (Atherton y cols., 2010). Según un metaanálisis reciente sobre el momento oportuno de consumo de proteína y la hipertrofia, la ingesta de un suplemento proteico justo después del ejercicio de carga tuvo una influencia positiva en la hipertrofia (Schoenfeld, Aragon y Krieger, 2013), pero la cantidad de la ingesta total de proteína resultó el indicador más sólido de hipertrofia muscular y el momento de ingesta de proteína no influyó en la hipertrofia. No obstante, el consejo práctico y sensato es que los deportistas deben considerar el período posterior al ejercicio como un tiempo para la rehidratación (para restaurar las pérdidas de líquido y electrolitos), el reabastecimiento (para restituir el glucógeno), la reparación (de las fibras musculares dañadas) y el reacondicionamiento (adaptación al estímulo de entrenamiento), conocidos colectivamente como las «4 R», y que deben ingerir las cantidades apropiadas de líquido, electrolitos, carbohidratos y proteínas para lograr los objetivos definidos por las 4 R. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

El momento y la cantidad de la ingesta de proteína durante el transcurso del día necesarios para optimizar la adaptación del entrenamiento aún se debaten. En un estudio preciso, se demostró que un patrón «intermedio» de ingesta de proteína de suero de leche (4 x 20 g cada 3 h) durante un tiempo de recuperación de 12 h luego de un período de ejercicio de carga es más eficaz que la ingesta de bolos grandes (2 x 40 g cada 6 h) o un protocolo de pulso (8 x 10 g cada 1.5 h) para estimular la síntesis de proteínas musculares (Areta y cols., 2013). (Morton et al., 2015, <https://bit.ly/2DKCSB3>).

Estos resultados concuerdan con el efecto de «músculo completo»; cuando la entrega de aminoácidos es suficiente (~ 20 g), los aminoácidos ya no se usan para la síntesis de proteínas musculares, sino que la mayoría se oxida (Atherton y cols., 2010; Moore y cols., 2009; Witard y cols., 2014).

Sin embargo, cabe destacar que muchos estudios que examinan el impacto de la alimentación con proteína en la síntesis de proteínas musculares administraron ya sea aminoácidos por infusión, mezclas de aminoácidos orales o proteína en bolo. En la vida real, los alimentos que consumen las personas suelen contener una mezcla de macronutrientes (es decir, proteínas, carbohidratos y grasas). La forma y la composición de macronutrientes de la ingesta de alimentos puede influir tanto en el aumento de la hiperaminoacidemia (provocado por el alimento) y en la subsiguiente síntesis de proteínas musculares y de todo el organismo. Se requieren más estudios para examinar la influencia de los alimentos con una mezcla de macronutrientes en la velocidad de la síntesis de proteínas musculares y la degradación de las proteínas musculares durante períodos más largos (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Proteína previa al sueño

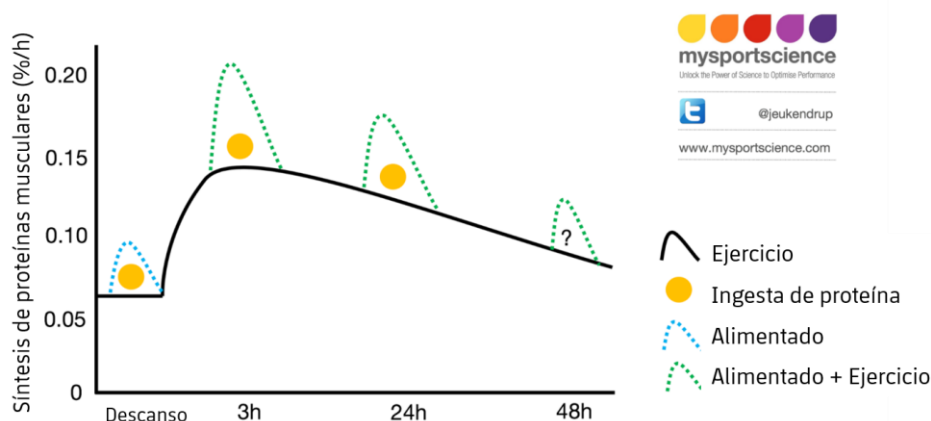
Al estudiar la síntesis y la degradación de proteínas en los humanos durante 24 h, resulta evidente que la rotación de proteínas es baja durante el sueño. Esto se da porque suele ser nuestro único momento del día en ayunas durante un período más largo. No hay suministro de aminoácidos ni leucina para iniciar la síntesis de proteínas. Por lo tanto, algunos investigadores de la Universidad de Maastricht sugirieron que el suministro de proteína durante la noche podría mejorar la recuperación y la síntesis de proteínas. En un principio, realizaron este estudio con

ancianos, pero un estudio de Res y cols. (Res y cols., 2012), en el que los voluntarios (hombres sanos) ingirieron 40 g de proteína antes de dormir, demostró que se estimuló la síntesis de proteínas musculares y se mejoró el balance neto de proteínas durante la noche. La gran cantidad de proteína ingerida no resultó ser muy práctica. Por ende, se hizo un seguimiento con otro estudio. Este estudio progresivo de 12 semanas de entrenamiento con ejercicio de carga «demostró que una bebida previa sueño que contiene 27.5 g de proteína, 15 g de carbohidratos y 0.1 g de grasas aumentaba la masa muscular, la zona de fibra muscular y las ganancias de fuerza, en comparación con una bebida placebo sin calorías» (Snijders y cols., 2015, <https://bit.ly/2r7KCpc>). El lector crítico, no obstante, notará que el grupo control del placebo de este estudio no recibió un suplemento de proteína, lo que significó una diferencia de 0.6 g/kg en el total de ingestas de proteína. En consecuencia, no se puede descartar que los efectos observados hayan sido por una mayor ingesta de proteína y no por el momento de la ingesta. Sin embargo, los autores presentan buenos argumentos de por qué es más probable que los efectos sean el resultado del momento y no de la cantidad.

En resumen, parece que el momento de la ingesta de proteína es una variable importante a tener en cuenta para optimizar la recuperación del músculo esquelético y la hipertrofia. Por lo visto, lo óptimo es la ingesta de proteína en el período posterior al ejercicio, aunque la llamada «ventana anabólica» para la ingesta de proteína dura al menos 24 h (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

(~ 0.4 g/kg de peso corporal/comida) distribuido durante el día. Por último, «ingerir grandes dosis de proteína (~ 0.6 g/kg de peso corporal) antes de dormir parece aumentar tanto la síntesis aguda de proteínas musculares durante la noche como las adaptaciones crónicas de la musculatura esquelética» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Figura 7: Estímulo de síntesis de proteínas tras el entrenamiento resistido



Fuente: adaptado de Phillips 2013, <https://bit.ly/2FRaekG>. El ejercicio de carga estimula un aumento prolongado (~24 a 48 h) de la síntesis de proteínas musculares. Esto incrementa el «potencial anabólico» de la ingesta de proteínas. Consumir proteínas siempre aumentará la síntesis de proteínas, pero el consumo cerca del ejercicio producirá un mayor aumento. Por lo tanto, existen beneficios probables de consumir proteínas durante y justo después del ejercicio.

Ingesta simultánea de otros nutrientes

Una dieta variada no solo proporciona sustratos, sino también un entorno hormonal favorable para la síntesis de proteínas. El aumento de la disponibilidad de glucosa y aminoácidos también produce un incremento de las concentraciones plasmáticas de insulina, que, a su vez, puede causar una disminución de la degradación de proteínas y un pequeño aumento de la síntesis de proteínas. (Biolo, Williams, Fleming y Wolfe, 1999, <https://bit.ly/2S8RdeG>).

Es posible que la ingesta de carbohidratos en sí misma no afecte la síntesis de proteínas tras el ejercicio. Pero la ingesta de carbohidratos eleva las concentraciones plasmáticas de insulina y puede, por lo tanto, reducir la degradación de proteínas que ocurre en general con el ejercicio de carga. La insulina inhibe la degradación de proteínas y, además, promueve la captación de aminoácidos (y glucosa) de algunos tejidos, incluido el músculo esquelético. Al parecer, es preferible la ingesta conjunta de proteínas y carbohidratos posterior al ejercicio, al menos en situaciones en que la cantidad de proteínas ingeridas es bastante reducida (en la mayoría de los estudios que informaron acerca de este efecto, los voluntarios consumieron solo unos 6 a 12 g de proteínas o aminoácidos posterior al ejercicio junto con 30 a 100 g de

carbohidratos). Las proteínas entregan los sustratos (aminoácidos), y los carbohidratos aumentan aún más el entorno hormonal anabólico necesario para la síntesis neta de proteínas.

En un estudio de Miller y cols. (Miller, Tipton, Chinkes, Wolf y Wolfe, 2003), los voluntarios realizaron ejercicios de carga para piernas y luego ingirieron una de tres bebidas: (solo aminoácidos (AA, ~6 g), solo carbohidratos (CHO, ~35 g), o AA (~6 g) + CHO (~35 g) combinados) 1 h y 2 h posteriores al ejercicio. La captación neta total de fenilalanina en la pierna durante 3 h fue la mayor como respuesta a los AA + CHO y la menor con los CHO. La estimulación de la captación neta con AA + CHO se dio por el aumento de la síntesis de proteínas musculares. En el grupo control (solo CHO), se observó una degradación neta de proteínas, lo que confirmó que la hiperinsulinemia por sí sola (es decir, en la ausencia de ingesta de aminoácidos) no estimula la síntesis de proteínas. Estos resultados sugieren que la ingesta de una cantidad relativamente reducida de aminoácidos con una cantidad mayor de carbohidratos puede aumentar la síntesis neta de proteínas musculares durante las horas posteriores al ejercicio de carga. Existen datos similares para el ejercicio de resistencia. A pesar de lo interesante de estos resultados, estudios más recientes indican que la dosis de aminoácidos fue subóptima para la velocidad máxima de síntesis de proteínas posterior al ejercicio. Al ingerir 20 g de aminoácidos o proteínas después del ejercicio, hay un mayor aumento de síntesis de proteínas en comparación con 0 o 6 g, y la adición de grandes cantidades de carbohidratos a 20 g de proteínas no incrementan aún más la síntesis neta de proteínas (Koopman y cols., 2007).

Las grasas también parecen tener efecto en la síntesis de proteínas, ya que, por lo visto, la leche entera produjo respuestas diferentes que la leche descremada (Elliot, Cree, Sanford, Wolfe y Tipton, 2006). Tras un período de ejercicio de carga, los voluntarios consumieron leche descremada o leche entera. Ambos tipos de leche estimularon la síntesis de proteínas, pero se observó el efecto mayor con la leche entera. La explicación no es del todo clara, pero se sugirió que la grasa en la leche entera retrasaría la entrega de aminoácidos y proporcionaría un suministro más prolongado de aminoácidos para la síntesis de proteínas. Se necesita más investigación sobre los efectos de la grasa agregada a la síntesis de proteínas. De hecho, se necesita más investigación para entender los

efectos de los alimentos comunes que contienen carbohidratos, fibras, grasas, proteínas y otros nutrientes. Se realizaron más estudios con formas puras de proteínas, en general en forma aislada y no en forma de alimento. Por lo tanto, es necesario comprender la conducta de la proteína cuando se ingiere en y con alimentos comunes (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Recomendaciones prácticas para maximizar la hipertrofia con entrenamiento de ejercicio de carga y nutrición

- Ejercítense regularmente con entrenamiento resistido de carga pesada.
- Levantar cargas más pesadas durante períodos más largos estimula un mayor aumento de fortaleza muscular.
- Levante cargas hasta el fallo de contracción.
- Mantenga el balance de energía.
- «Considere el período posterior al ejercicio como un período de rehidratación (para restituir las pérdidas de electrolitos y líquido), recarga de energía (para restituir el glucógeno), reparación (de fibras musculares dañadas) y remodelación (adaptación al estímulo del entrenamiento), conocido como las "4 R". (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Asegúrese de ingerir cantidades adecuadas de líquido, electrolitos, carbohidratos y proteínas para alcanzar los objetivos de las 4 R.

- «El momento de la ingesta de proteína es una variable importante a tener en cuenta para optimizar la recuperación del músculo esquelético y la hipertrofia. La ingesta de proteínas parece óptima en el período posterior al ejercicio en dosis suficientes (~ 0.4 g · kg de peso corporal⁻¹ · comida⁻¹) y hasta 3 comidas más distribuidas durante el día para alcanzar una ingesta alimentaria de proteínas total de 1.4 a 1.6 g · kg de peso corporal⁻¹. Esta cantidad óptima es más favorable que consumir menos comidas con más proteínas. Ingerir una dosis mayor de proteína (~ 0.6 g · kg de peso corporal⁻¹ · comida⁻¹) «antes de dormir parece aumentar tanto la síntesis aguda de proteínas musculares durante la noche como las adaptaciones crónicas de la musculatura esquelética.

- El contenido proteico de la comida posterior al ejercicio deberá consistir principalmente de proteínas de alta calidad y rápida digestión con un alto contenido de leucina. Estas proteínas incluyen el suero de leche, la leche descremada y los huevos.
- Otras proteínas ingeridas durante el día deben ser en su mayoría proteínas magras de alta calidad con todos los aminoácidos esenciales en proporciones más o menos iguales. Estas serán sobre todo proteínas de origen animal, entre ellas, carne, jamón, cordero, ave y pescado, pero se pueden complementar con soja, frijoles, queso, nueces y pan. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).
- Recuerde que se pueden obtener algunas proteínas de la soja, los frijoles, las nueces y el pan.

Referencias

Areta, J. L., Burke, L. M., Ross, M. L., Camera, D. M., West, D. W., Broad, E. M., . . . Coffey, V. G. (2013). Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J Physiol*, *591*(9), 2319-2331. doi:10.1113/jphysiol.2012.244897.

Atherton, P. J., Etheridge, T., Watt, P. W., Wilkinson, D., Selby, A., Rankin, D... Rennie, M. J. (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*(5), 1080-1088. doi:10.3945/ajcn.2010.29819.

Baker, L. B. & Jeukendrup, A. E. (2014). Optimal composition of fluid replacement beverages. *Compr Physiol*, *4*(2), 575-620. doi:10.1002/cphy.c130014.

Biolo, G., Williams, B. D., Fleming, R. Y. y Wolfe, R. R. (1999). Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise. *Diabetes*, *48*(5), 949-957.

Blom, P. C. S., Høstmark, A. T., Vaage, O., Kardel, K. R. y Maehlum, S. (1987). Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen resynthesis. *Med Sci Sports Exerc*, *19*, 491-496.

Bohe, J., Low, A., Wolfe, R. R. y Rennie, M. J. (2003). Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *J Physiol*, *552*(Pt 1), 315-324.

Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M. P., Maubois, J. L. y Beaufre, B. (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *94*(26), 14930-14935.

Broad, E. M., Burke, L. M., Cox, G. R., Heeley, P. y Riley, M. (1996). Body weight changes and voluntary fluid intakes during training and competition sessions in team sports. *Int J Sport Nutr*, *6*(3), 307-320.

Burd, N. A., West, D. W., Moore, D. R., Atherton, P. J., Staples, A. W., Prior, T... Phillips, S. M. (2011). Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *J Nutr*, *141*(4), 568-573. doi:10.3945/jn.110.135038.

Burke, L. M., Collier, G. R., Davis, P. G., Fricker, P. A., Sanigorski, A. J. y Hargreaves, M. (1996). Muscle glycogen storage after prolonged exercise:

effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr*, 64(1), 115-119.

Burke, L. M., Collier, G. R. y Hargreaves, M. (1993). Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of glycemic index of carbohydrate feedings. *J Appl Physiol*, 75(2), 1019-1023.

Burke, L. M., Hawley, J. A., Ross, M. L., Moore, D. R., Phillips, S. M., Slater, G. R... Coffey, V. G. (2012). Preexercise aminoacidemia and muscle protein synthesis after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 44(10), 1968-1977. doi:10.1249/MSS.0b013e31825d28fa.

Churchward-Venne, T. A., Breen, L., Di Donato, D. M., Hector, A. J., Mitchell, C. J., Moore, D. R... Phillips, S. M. (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(2), 276-286. doi:10.3945/ajcn.113.068775.

DeFronzo, R. A., Goldberg, M. y Agus, Z. S. (1976). The effects of glucose and insulin on renal electrolyte transport. *J Clin Invest*, 58(1), 83-90. doi:10.1172/JCI108463.

Derave, W., Eijnde, B. O., Verbessem, P., Ramaekers, M., Van Leemputte, M., Richter, E. A. y Hespel, P. (2003). Combined creatine and protein supplementation in conjunction with resistance training promotes muscle GLUT-4 content and glucose tolerance in humans. *J Appl Physiol* (1985), 94(5), 1910-1916. doi:10.1152/jappphysiol.00977.2002.

Desbrow, B., Cecchin, D., Jones, A., Grant, G., Irwin, C. y Leveritt, M. (2015). Manipulations to the Alcohol and Sodium Content of Beer for Postexercise Rehydration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 25(3), 262-270. doi:10.1123/ijsnem.2014-0064.

Desbrow, B., Murray, D. y Leveritt, M. (2013). Beer as a sports drink? Manipulating beer's ingredients to replace lost fluid. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 23(6), 593-600.

Elliot, T. A., Cree, M. G., Sanford, A. P., Wolfe, R. R. y Tipton, K. D. (2006). Milk ingestion stimulates net muscle protein synthesis following resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 38(4), 667-674. doi:10.1249/01.mss.0000210190.64458.25.

Evans, G. H., Shirreffs, S. M. y Maughan, R. J. (2009). Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition*, 25(9), 905-913. doi:10.1016/j.nut.2008.12.014.

Fagundes Neto, U., Franco, L., Tabacow, K. y Machado, N. L. (1993). Negative findings for use of coconut water as an oral rehydration solution in childhood diarrhea. *J Am Coll Nutr*, 12(2), 190-193.

Fujita, S., Dreyer, H. C., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Volpi, E. y Rasmussen, B. B. (2009). Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* (1985), 106(5), 1730-1739. doi:10.1152/jappphysiol.90395.2008.

Gonzalez-Alonso, J., Heaps, C. L. y Coyle, E. F. (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int. J. Sports Med.*, 13, 399-406.

Ismail, I., Singh, R. y Sirisinghe, R. G. (2007). Rehydration with sodium-enriched coconut water after exercise-induced dehydration. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*, 38(4), 769-785.

Ivy, J. L. (1991). Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med*, 11(1), 6-19.

Ivy, J. L., Lee, M. C., Brozinick, J. T. y Reed, M. J. (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol*, 65, 2018-2023.

James, L. J., Clayton, D. y Evans, G. H. (2011). Effect of milk protein addition to a carbohydrate-electrolyte rehydration solution ingested after exercise in the heat. *Br J Nutr*, 105(3), 393-399. doi:10.1017/S0007114510003545.

Jentjens, R. & Jeukendrup, A. (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med*, 33(2), 117-144.

Jeukendrup, A. E. (2016a). Do we need to rethink protein guidelines for athletes? Recuperado de <http://www.mysportscience.com/single-post/2016/11/16/Do-we-need-to-rethink-the-guidelines-for-protein-intake-for-athletes>

Jeukendrup, A. E. (2016b). Hydrating properties of various drinks. Recuperado de <http://www.mysportscience.com/single-post/2016/10/17/Hydrating-properties-of-various-drinks>

Jeukendrup, A. E. (2018). Is coconut water as "natural" as suggested? Recuperado de <http://www.mysportscience.com/single-post/2018/08/19/Is-coconut-water-as-natural-as-suggested>

Jeukendrup, A. E. y Gleeson, M. (2018). *Sport Nutrition: an introduction to energy production and performance* (3rd ed.). Illinois, EE. UU.: Human Kinetics.

Kalman, D. S., Feldman, S., Krieger, D. R. y Bloomer, R. J. (2012). Comparison of coconut water and a carbohydrate-electrolyte sport drink

on measures of hydration and physical performance in exercise-trained men. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 1. doi:10.1186/1550-2783-9-1.

Keizer, H. A., Kuipers, H., van Kranenburg, G. y Geurten, P. (1987). Influence of liquid and solid meals on glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *Int J Sports Med*, 8(2), 99-104.

Kenefick, R. W., Maresh, C. M., Armstrong, L. E., Riebe, D., Echegaray, M. E. y Castellani, J. W. (2007). Rehydration with fluid of varying tonicities: effects on fluid regulatory hormones and exercise performance in the heat. *J Appl Physiol* (1985), 102(5), 1899-1905. doi:10.1152/jappphysiol.00920.2006.

Koopman, R., Beelen, M., Stellingwerff, T., Pennings, B., Saris, W. H., Kies, A. K... van Loon, L. J. (2007). Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis (Traducción propia). *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 293(3), E833-842. doi:10.1152/ajpendo.00135.2007

Laitano O., Runco J. L., Baker L., (2014). HYDRATION SCIENCE AND STRATEGIES IN FOOTBALL. *Sports Science Exchange Vol. 27, No. 128, 1-7*. Recuperado de https://secure.footprint.net/gatorade/stg/gssiweb/pdf/SSE128_Laitano.pdf

Macnaughton, L. S., Wardle, S. L., Witard, O. C., McGlory, C., Hamilton, D. L., Jeromson, S... Tipton, K. D. (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(15). doi:10.14814/phy2.12893.

Maughan, R. J. y Leiper, J. B. (1995). Sodium intake and post exercise rehydration in man. *Eur. J. App. Physiol.*, 71, 311-319.

Maughan, R. J., Owen, J. H., Shirreffs, S. M. y Leiper, J. B. (1994). Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur J Appl Physiol*, 69, 209-215.

Maughan, R. J., Watson, P., Cordery, P. A., Walsh, N. P., Oliver, S. J., Dolci, A... Galloway, S. D. (2016). A randomized trial to assess the potential of different beverages to affect hydration status: development of a beverage hydration index. *Am J Clin Nutr*, 103(3), 717-723. doi:10.3945/ajcn.115.114769.

McGlory, C., Devries, M. C. y Phillips, S. M. (2017). Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *J Appl Physiol* (1985), 122(3), 541-548. doi:10.1152/jappphysiol.00613.2016.



Miller, S. L., Tipton, K. D., Chinkes, D. L., Wolf, S. E. y Wolfe, R. R. (2003). Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 449-455.

Moore, D. R., Churchward-Venne, T. A., Witard, O., Breen, L., Burd, N. A., Tipton, K. D. y Phillips, S. M. (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(1), 57-62. doi:10.1093/gerona/glu103.

Moore, D. R., Robinson, M. J., Fry, J. L., Tang, J. E., Glover, E. I., Wilkinson, S. B... Phillips, S. M. (2009). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am J Clin Nutr*, 89(1), 161-168. doi:10.3945/ajcn.2008.26401.

Morton, R. W., McGlory, C. y Phillips, S. M. (2015). Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Front Physiol*, 6. doi:10.3389/fphys.2015.00245.

Nelson, A. G., Arnall, D. A., Kokkonen, J., Day, R. y Evans, J. (2001). Muscle glycogen supercompensation is enhanced by prior creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7), 1096-1100.

Nuccio, R. P., Barnes, K. A., Carter, J. M. y Baker, L. B. (2017). Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. *Sports Med*, 47(10), 1951-1982. doi:10.1007/s40279-017-0738-7.

Osterberg, K. L., Pallardy, S. E., Johnson, R. J. y Horswill, C. A. (2010). Carbohydrate exerts a mild influence on fluid retention following exercise-induced dehydration. *J Appl Physiol (1985)*, 108(2), 245-250. doi:10.1152/jappphysiol.91275.2008.

Pedersen, D. J., Lessard, S. J., Coffey, V. G., Churchley, E. G., Wootton, A. M., Ng, T... Hawley, J. A. (2008). High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *J Appl Physiol (1985)*, 105(1), 7-13. doi:10.1152/jappphysiol.01121.2007.

Phillips, S. M., Tipton, K. D., Aarsland, A., Wolf, S. E. y Wolfe, R. R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*, 273(1 Pt 1), E99-107.

Phillips S.M., (2013), "Protein consumption and resistance exercise: Maximizing anabolic potential," *Sports Science Exchange* 26(107): 1-5. <https://bit.ly/2FRaekG>.

Robinson, T. M., Sewell, D. A., Hultman, E. y Greenhaff, P. L. (1999). Role of submaximal exercise in promoting creatine and glycogen accumulation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985)*, 87(2), 598-604. doi:10.1152/jappl.1999.87.2.598.



Schaafsma, G. (2000). The protein digestibility-corrected amino acid score. *J Nutr*, *130*(7), 1865s-1867s. doi:10.1093/jn/130.7.1865S.

Schoenfeld, B. J., Aragon, A. A. y Krieger, J. W. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*, *10*(1), 53. doi:10.1186/1550-2783-10-53.

Shirreffs, S. M., Aragon-Vargas, L. F., Keil, M., Love, T. D. y Phillips, S. (2007). Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, *17*(3), 244-258.

Shirreffs, S. M. y Sawka, M. N. (2011). Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *J Sports Sci*, *29 Suppl 1*, S39-46. doi:10.1080/02640414.2011.614269.

Shirreffs, S. M., Taylor, A. J., Leiper, J. B. y Maughan, R. J. (1996). Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc*, *28*(10), 1260-1271.

Shirreffs, S. M., Watson, P. y Maughan, R. J. (2007). Milk as an effective post-exercise rehydration drink. *Br J Nutr*, *98*(1), 173-180. doi:10.1017/S0007114507695543.

Snijders, T., Res, P. T., Smeets, J. S., van Vliet, S., van Kranenburg, J., Maase, K... van Loon, L. J. (2015). Protein Ingestion before Sleep Increases Muscle Mass and Strength Gains during Prolonged Resistance-Type Exercise Training in Healthy Young Men. *J Nutr*, *145*(6), 1178-1184. doi:10.3945/jn.114.208371.

Symons, T. B., Sheffield-Moore, M., Wolfe, R. R. y Paddon-Jones, D. (2009). A moderate serving of high-quality protein maximally stimulates skeletal muscle protein synthesis in young and elderly subjects. *J Am Diet Assoc*, *109*(9), 1582-1586. doi:10.1016/j.jada.2009.06.369.

Tang, J. E., Moore, D. R., Kujbida, G. W., Tarnopolsky, M. A. y Phillips, S. M. (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 (Traducción propia). *J Appl Physiol* (1985), *107*(3), 987-992. doi:10.1152/jappphysiol.00076.2009.

Tipton, K. D., Elliott, T. A., Cree, M. G., Aarmland, A. A., Sanford, A. P. y Wolfe, R. R. (2007). Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, *292*(1), E71-76. doi:10.1152/ajpendo.00166.2006.

Tipton, K. D., Ferrando, A. A., Phillips, S. M., Doyle, D., Jr. y Wolfe, R. R. (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol*, *276*(4 Pt 1), E628-634.



Tipton, K. D., Rasmussen, B. B., Miller, S. L., Wolf, S. E., Owens-Stovall, S. K., Petrini, B. E. y Wolfe, R. R. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281(2), E197-206.

Tipton, K. D. y Witard, O. C. (2007). Protein requirements and recommendations for athletes: relevance of ivory tower arguments for practical recommendations (Traducción propia). *Clin Sports Med*, 26(1), 17-36. doi:10.1016/j.csm.2006.11.003.

van Loon, L. J., Kruijshoop, M., Verhagen, H., Saris, W. H. y Wagenmakers, A. J. (2000). Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases postexercise plasma insulin responses in men. *J Nutr*, 130(10), 2508-2513.

Watson, P., Love, T. D., Maughan, R. J. y Shirreffs, S. M. (2008). A comparison of the effects of milk and a carbohydrate-electrolyte drink on the restoration of fluid balance and exercise capacity in a hot, humid environment. *Eur J Appl Physiol*, 104(4), 633-642. doi:10.1007/s00421-008-0809-4.

Witard, O. C., Jackman, S. R., Breen, L., Smith, K., Selby, A. y Tipton, K. D. (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(1), 86-95. doi:10.3945/ajcn.112.055517.

Yeo, S. E., Jentjens, R. L., Wallis, G. A. y Jeukendrup, A. E. (2005). Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *Journal of Applied Physiology*. 99(3):844-50.

Zawadzki, K. M., Yaspelkis III, B. B. e Ivy, J. L. (1992). Carbohydrate-protein complex increased the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol*, 72(5), 1854-1859.