

Módulo 2. El rol de las proteínas en la dieta de los jugadores

Unidad 2.1 Una introducción a las proteínas

Dr. Ian Rollo: Gatorade Sports Science Institute

Las proteínas se proporcionan en la dieta de los jugadores mediante alimentos tanto a base de vegetales como de origen animal. Dentro del campo de la nutrición deportiva, la proteína es ampliamente reconocida como un nutriente clave para la fisiología muscular. Cuando se habla de proteínas para el fútbol, la respuesta común es que son necesarias para el crecimiento y la reparación musculares, lo cual es cierto. Sin embargo, las proteínas no solo desempeñan un rol estructural, sino que también tienen muchas otras funciones. Por ejemplo, las proteínas participan en el transporte de moléculas como el oxígeno; aceleran las reacciones químicas en las vías metabólicas; son parte del sistema inmune; y pueden actuar como desencadenantes para impulsar la adaptación muscular después del entrenamiento y los partidos de fútbol.

¿SABÍA QUE...?

El conjunto completo de proteínas expresadas por un organismo se denomina proteoma, y el estudio del proteoma se denomina proteómica.

Función de la proteína

La proteína es un componente de cada célula del cuerpo humano y es necesaria para el crecimiento, el desarrollo y la salud de los jugadores. Como tales, las proteínas tienen una diversa gama de funciones en el cuerpo del jugador. Es imposible cubrir en detalle todos los roles de las proteínas, pero es importante comprender algunas funciones clave, que se resumirán en esta unidad.

Las proteínas son esenciales para los movimientos generados por las contracciones musculares. Las contracciones musculares son posibles gracias a la acción de las proteínas actina y miosina, que interactúan para producir fuerza mecánica dentro de los músculos esqueléticos. Los anticuerpos producidos por el sistema inmune también son proteínas, que pueden reconocer y neutralizar microorganismos (patógenos) que podrían causar enfermedades. Los anticuerpos degradan y destruyen las sustancias extrañas en el organismo para mantener la salud de los jugadores.

Muchas proteínas también desempeñan un rol en el movimiento y el transporte de sustancias hacia dentro y hacia fuera de las células. Por ejemplo, el oxígeno, requerido para el metabolismo aeróbico, es transportado por una proteína llamada hemoglobina, y los ácidos grasos son transportados en el plasma por una proteína llamada albúmina. El transporte de muchas moléculas como la glucosa, el calcio, el sodio y el potasio hacia

dentro y hacia fuera de las células depende de estructuras proteicas complejas que crean canales o bombas en las membranas celulares.

Las proteínas también actúan como hormonas secretadas por el sistema endocrino, permitiendo que las células se comuniquen con otras células en el cuerpo. Por ejemplo, la insulina es una proteína secretada por las células beta del páncreas en respuesta a la ingesta de alimentos. Luego, la insulina viaja por el torrente sanguíneo hacia los órganos objetivo como el hígado, el tejido adiposo o el músculo esquelético, promoviendo la absorción de glucosa en esos tejidos.

Otro rol clave de las proteínas está relacionado con la actividad enzimática. Las enzimas son proteínas y funcionan para facilitar/acelerar las reacciones químicas en el cuerpo de los jugadores. Por ejemplo, la fosfofructoquinasa es una enzima clave en el metabolismo de los carbohidratos, y la citratosintasa es una proteína involucrada en la primera reacción del ciclo TCA. Así, las proteínas desempeñan un rol clave en la producción de energía. Algunas de las funciones clave de las proteínas en el cuerpo de los jugadores se enumeran en la Figura 1.

Figura 1: Funciones generales de las proteínas en el cuerpo de los jugadores



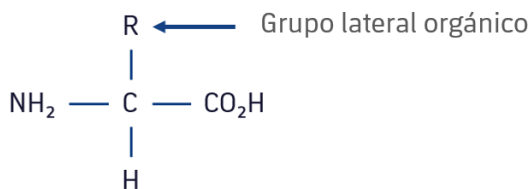
Fuente: elaboración propia.

Estructura proteica

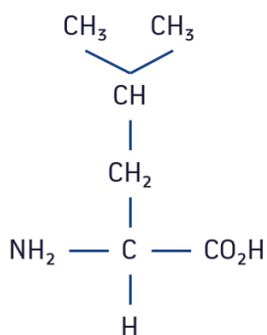
La proteína se compone de cientos o miles de unidades más pequeñas, llamadas aminoácidos. Los aminoácidos están unidos entre sí en largas cadenas. Por lo tanto, los aminoácidos son los componentes básicos de las proteínas. Cada aminoácido está compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La fórmula general de los aminoácidos es $RCH(NH_2)COOH$, donde C es carbono, H es hidrógeno, N es nitrógeno, O es oxígeno y R es un grupo, que varía en composición y estructura, llamado cadena lateral. Lo que hace que los aminoácidos sean diferentes unos de otros es el grupo R. La cadena lateral determina el tamaño, la estructura y la función generales de los aminoácidos.

Figura 2: Estructura general de los aminoácidos y los aminoácidos ramificados

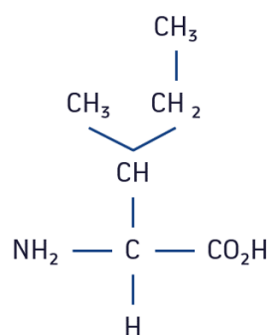
Estructura general de un aminoácido



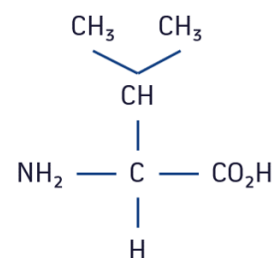
Estructuras de aminoácidos ramificados



Leucina



Isoleucina



Valina

Fuente: elaboración propia.

Los aminoácidos se dividen en dos categorías: esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales son necesarios para el funcionamiento normal del cuerpo, pero no pueden ser producidos por el cuerpo y deben obtenerse de los alimentos en la dieta del jugador. De los veinte aminoácidos, nueve son considerados "esenciales", y once son "no esenciales". El cuerpo puede producir aminoácidos no esenciales a partir de aminoácidos esenciales consumidos en los alimentos o a partir de la degradación normal de las proteínas corporales.

Todos los aminoácidos en la sangre y los líquidos extracelulares representan un "grupo" de aminoácidos que puede variar en tamaño y composición según el estado nutricional del cuerpo, la disponibilidad de aminoácidos en plasma y el entorno hormonal.

Inmediatamente después de la ingesta de una comida, el grupo de aminoácidos en el músculo se expande, ya que el suministro de aminoácidos al músculo supera su capacidad para convertirlos en proteínas (Rennie and Tipton 2000). En el estado posterior a la absorción, la síntesis de proteínas disminuye y la degradación de las proteínas se acelera.

Figura 3: Clasificación de aminoácidos

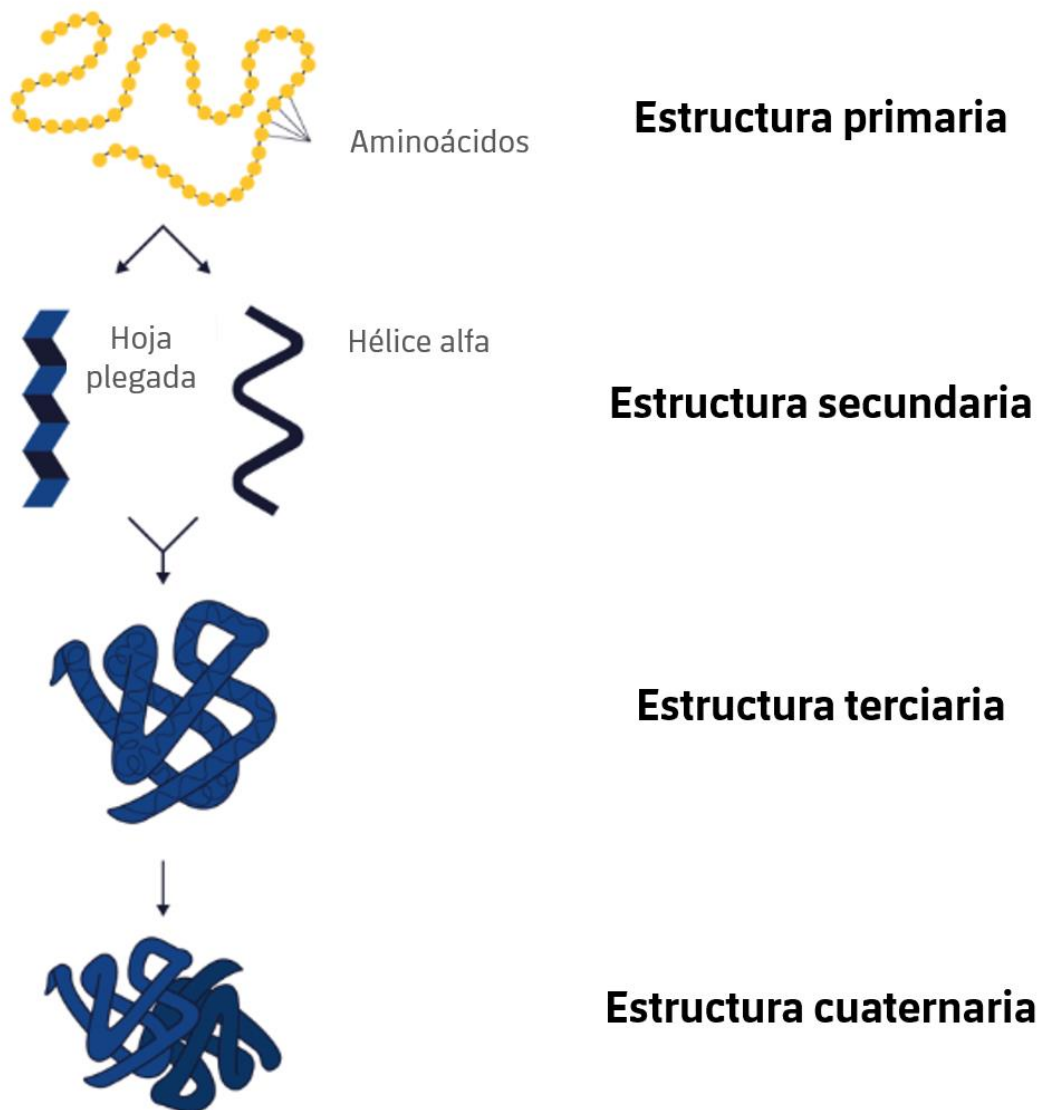
Aminoácidos esenciales	Aminoácidos no esenciales
Histidina	Alanina
Isoleucina	Arginina
Leucina	Asparagina
Lisina	Aspartato
Metionina	Cisteína
Fenilalanina	Glutamato
Treonina	Glutamina
Triptófano	Glicina
Valina	Prolina
	Serina
	Tirosina

Fuente: elaboración propia.

Los aminoácidos pueden unirse para formar cadenas a través de enlaces peptídicos entre dos aminoácidos adyacentes. Es común considerar las cadenas de 50 aminoácidos o más como proteínas, mientras que las cadenas de menos de 50 aminoácidos se denominan comúnmente péptidos u oligopéptidos. Cada tipo de proteína tiene su propia secuencia única de aminoácidos que determina la estructura de cada proteína y su función específica.

Es la combinación de aminoácidos en la secuencia peptídica lo que permite la diversidad de función de las proteínas. Aparte de su estructura primaria, las proteínas pueden organizarse en estructuras secundarias, al plegarse en dos formas comunes conocidas como hélice alfa u hojas plegadas beta. La complejidad de las proteínas aumenta a medida que se organizan en estructuras terciarias para adquirir una forma tridimensional (Figura 4). Esta forma es crítica para que las proteínas tengan funcionalidad, en parte, debido a las interacciones funcionales efectivas entre las partes de la proteína. Una estructura cuaternaria se produce cuando dos o más estructuras terciarias se unen.

Figura 4: Estructura proteica



Fuente: elaboración propia.

Aminoácidos ramificados

Los aminoácidos ramificados son la forma más abundante de aminoácidos, ya que representan el 20 % de los aminoácidos que se encuentran en los músculos esqueléticos. Los aminoácidos ramificados, isoleucina, leucina y valina, son aminoácidos esenciales que han recibido una gran cantidad de atención en las recomendaciones de nutrición para deportes y ejercicio. Esto se debe a que los aminoácidos ramificados pueden ser utilizados directamente por los músculos esqueléticos y pueden ser importantes en el contexto de mejorar la respuesta anabólica de los músculos después del ejercicio (Tipton 2017). La estructura de los tres aminoácidos ramificados se muestra en la Figura 2.

Se ha demostrado que la suplementación con aminoácidos ramificados, debido al contenido de leucina, estimula las vías moleculares, lo que conduce a una mejora de la síntesis de proteínas musculares. Sin embargo, no está claro si los suplementos de aminoácidos ramificados por sí solos son efectivos para la estimulación óptima de la

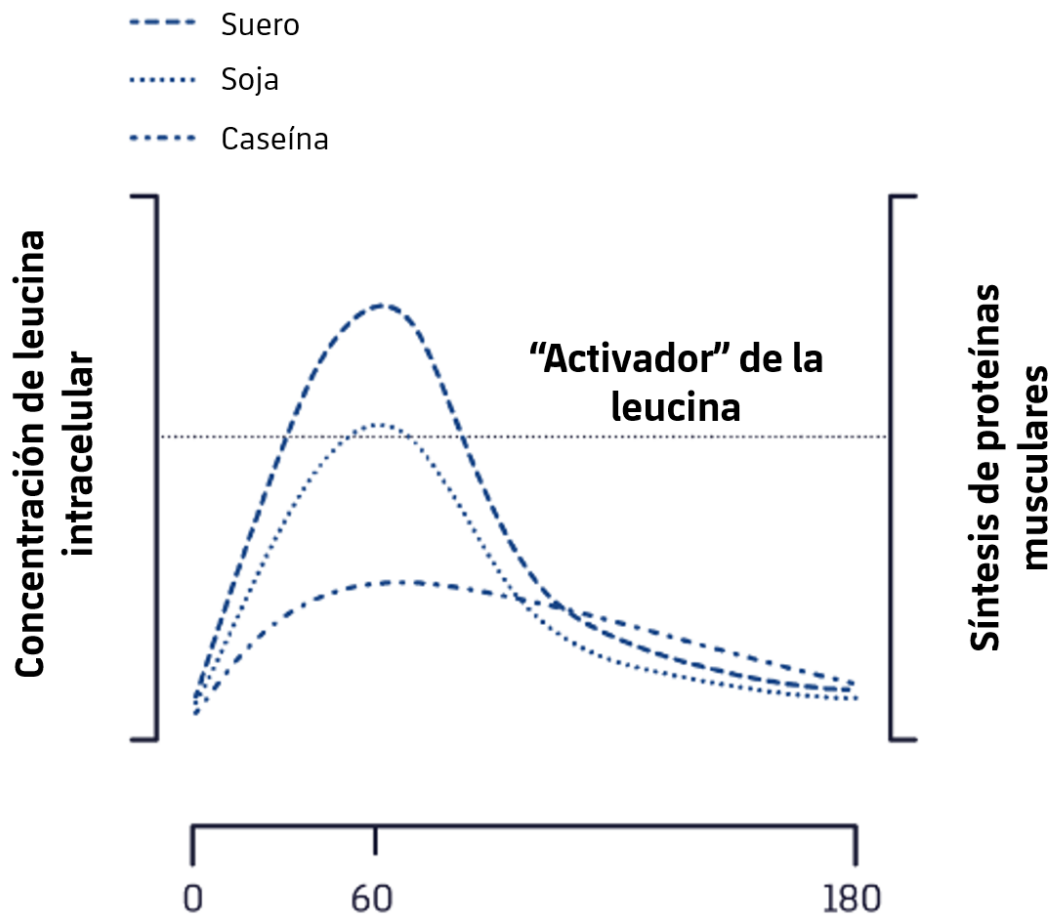
síntesis de proteínas musculares después del ejercicio. Es probable que el consumo de aminoácidos ramificados sin cantidades suficientes de los otros aminoácidos esenciales y no esenciales maximice la respuesta sintética de las proteínas musculares (Tipton 2017).

Se ha informado que la suplementación con aminoácidos ramificados inhibe la degradación de las proteínas musculares en reposo, pero hasta la fecha no hay pruebas que sugieran que inhiban la degradación de las proteínas musculares después del ejercicio (Tipton 2017). Existen algunas pruebas que respaldan que el uso de aminoácidos ramificados es una intervención nutricional efectiva para mejorar la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio (Howatson, Hoad et al. 2012). Sin embargo, no todos los estudios respaldan estas observaciones (Areces, Salinero et al. 2014), por lo que se requiere de más investigaciones para recomendar los aminoácidos ramificados específicamente para la recuperación del ejercicio realizado en el fútbol. Finalmente, hay pocas pruebas con respecto a la ingesta de aminoácidos ramificados y la síntesis de proteínas musculares después del ejercicio de resistencia. Por lo tanto, nuevamente, no hay razón para recomendar una suplementación específica con aminoácidos ramificados durante o después del entrenamiento o los partidos de fútbol.

LEUCINA

Se cree que todos los aminoácidos tienen un rol, en mayor o menor grado, en la estimulación de la síntesis de proteínas musculares inducida por aminoácidos (Volpi, Kobayashi et al. 2003). Sin embargo, la leucina se ha convertido en un regulador nutricional clave de la síntesis de proteínas musculares (Koopman, Wagenmakers et al. 2005, Philips 2013). Algunos estudios han informado de una mayor estimulación de la síntesis de proteínas musculares cuando las mezclas de aminoácidos están enriquecidas con leucina (Koopman, Wagenmakers et al. 2005) y proteínas naturalmente ricas en leucina, en comparación con proteínas con "bajo contenido de leucina" (Tang, Moore et al. 2009). Estas observaciones llevan a los autores a especular que la leucina puede actuar como un "disparador" o que existe un "umbral de leucina". Específicamente, el "umbral de leucina" representa la concentración de leucina requerida en la circulación periférica para una tasa máxima de síntesis de proteínas musculares (Burke, Hawley et al. 2012). Por lo tanto, según la suposición que afirma que la cantidad de proteína que es suficiente para producir una respuesta sintética máxima es de aproximadamente 20 g (proteína de huevo), la dosis correspondiente de leucina para "disparar" una respuesta equivaldría a aproximadamente unos 2,0 a 2,5 g (Moore, Robinson et al. 2009). La dosis y la cantidad de proteína es, casi con total seguridad, diferente para los jugadores con masas corporales más bajas y después de ejercicios que involucran más o menos músculo.

Figura 5: Hipótesis de la leucina como "disparador"



Fuente: modificado de (Phillips 2013).

Proteína alimentaria

Los aminoácidos se obtienen al ingerir proteínas de los alimentos. Los jugadores suelen ingerir alrededor del 10 al 15 % de su ingesta total de energía en forma de proteínas alimentarias. La actual ingesta diaria recomendada (IDR) internacional de proteínas en individuos sanos es de 0,8 g por kg de masa corporal (Albertus, Tucker et al. 2005, Institute of Medicine (IOM) Food and Nutrition Board 2005), pero es probable que sea más alta para los futbolistas (Unidad 2).

Las proteínas animales, lácteas y algunas proteínas vegetales se consideran proteínas de alta calidad que confieren beneficios metabólicos y para la salud en función de los niveles de digestibilidad de los aminoácidos esenciales que contienen (Pasiakos, Agarwal et al. 2015).

Las legumbres, los frutos secos, las semillas y ciertos granos como la quinoa son algunos de los alimentos vegetales con mayor contenido de proteínas. La soja, en particular, tiene un contenido mucho más alto de proteínas y aminoácidos esenciales que otros alimentos vegetales (Michelfelder 2009). Sin embargo, con la excepción de la soja, la mayoría de las proteínas vegetales tienen un contenido limitado de uno o más de los siguientes

aminoácidos: lisina, treonina, triptófano, cisteína o metionina (Comerford and Pasin 2016). Por el contrario, la mayoría de las fuentes de proteínas animales, con la excepción del colágeno/gelatina, contienen cantidades adecuadas de todos los aminoácidos esenciales. Hasta la fecha, gran parte de las investigaciones sobre nutrición se han enfocado en fuentes de proteínas aisladas. Sabemos que, cuando los jugadores consumen "comidas", estas generalmente contienen una combinación de alimentos. Es importante tener en cuenta que las combinaciones de diversos aislados de proteínas de origen vegetal o mezclas de proteínas de origen animal y vegetal pueden proporcionar características proteicas que reflejen fielmente los perfiles o las características típicas de los aminoácidos de las proteínas de origen animal (Gorissen, Crombag et al. 2018). En la Figura 6, se proporcionan algunos ejemplos de fuentes ricas en proteínas, y el contenido de leucina de alimentos comunes se muestra en la Tabla 1.

Figura 6: Ejemplos de alimentos ricos en proteínas



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1: Fuentes de leucina en los alimentos

Alimento	Gramos de leucina c/100 g
Concentrados de proteína de soja	4,92
Soja, cruda	2,97
Carne de res molida, magra	1,76
Maní	1,67
Salame, cerdo	1,63
Pescado, salmón	1,62
Germen de trigo	1,57
Almendras	1,49
Pollo (pollos de tipo "broiler" y "fryer", muslo, solo carne, crudo)	1,48
Huevo de gallina (yema, cruda, fresca)	1,40
Avena	1,28
Frijoles pintos, cocidos	0,76
Lentejas, cocidas	0,65
Garbanzos, cocidos	0,63
Maíz amarillo	0,35

Leche de vaca (entera, 3,25 % de grasa de leche)	0,27
Arroz (integral, grano medio, cocido)	0,19
Leche humana	0,10

Fuente: modificado de la National Nutrient Database for Standard Reference. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2009.

Digestión y absorción de las proteínas

Durante la digestión, las proteínas se descomponen en aminoácidos libres que se absorben en la sangre. Las proteínas se descomponen en sus subunidades de aminoácidos en un proceso llamado hidrólisis. Abarcar la complejidad de la hidrólisis de las proteínas en su totalidad excede el alcance de este curso. En resumen, la digestión de proteínas comienza en la boca. Los alimentos con proteínas, especialmente la carne, requieren de una masticación adecuada antes de la deglución (Remond, Machebeuf et al. 2007). La hidrólisis de las proteínas comienza en el estómago, donde los alimentos ingeridos se exponen a la primera de una serie de proteasas, las enzimas necesarias para la digestión de las proteínas. Las proteasas hidrolizan los enlaces peptídicos, que unen la estructura de la proteína en los alimentos. En el estómago, la proteína es expuesta al ácido clorhídrico y la pepsina. La pepsina es una enzima proteolítica, que requiere del entorno ácido del jugo gástrico para hidrolizar la proteína. El suministro de proteínas al intestino se rige por factores que comúnmente se considera que influyen en el vaciado gástrico.

Los fragmentos de péptidos y los aminoácidos libres se absorben casi exclusivamente en el intestino delgado. El yeyuno proximal es el sitio principal de absorción de aminoácidos y péptidos. Sin embargo, otras secciones del intestino delgado también tienen una importante capacidad de transporte (Silk, Grimble et al. 1985). En el intestino, la pepsina es desnaturalizada por las secreciones alcalinas del páncreas. Sin embargo, la proteína continúa sometándose a la hidrólisis por la acción de las endopeptidasas tripsina y quimotripsina. El tripsinógeno, también contenido en el jugo pancreático, activa la enteroquinasa localizada a lo largo de la pared de la membrana del borde en cepillo intestinal. La mayoría de los aminoácidos se transportan a través de las membranas del borde en cepillo de las células intestinales mediante transportadores dependientes de sodio o independientes de sodio.

Muchos de los aminoácidos absorbidos después de la digestión de proteínas (~40-50 %) son utilizados por las células intestinales para obtener energía o para la síntesis de proteínas, mientras que el resto de los aminoácidos se liberan en la vena porta hepática antes de ser captados por el hígado (Stokes, Hector et al. 2018). El hígado es el otro órgano clave para el metabolismo de los aminoácidos en el cuerpo, ya que más del 50 % de los aminoácidos absorbidos en los intestinos son captados y procesados por el hígado para el metabolismo local, es decir, para la producción de proteínas sanguíneas hepáticas y derivadas del hígado. En términos generales, aproximadamente el 50 % de los aminoácidos en una comida con proteínas son extraídos por los tejidos espláncnicos, mientras que el resto se libera en la circulación del plasma para una utilización extraespláncica (Groen, Horstman et al. 2015).

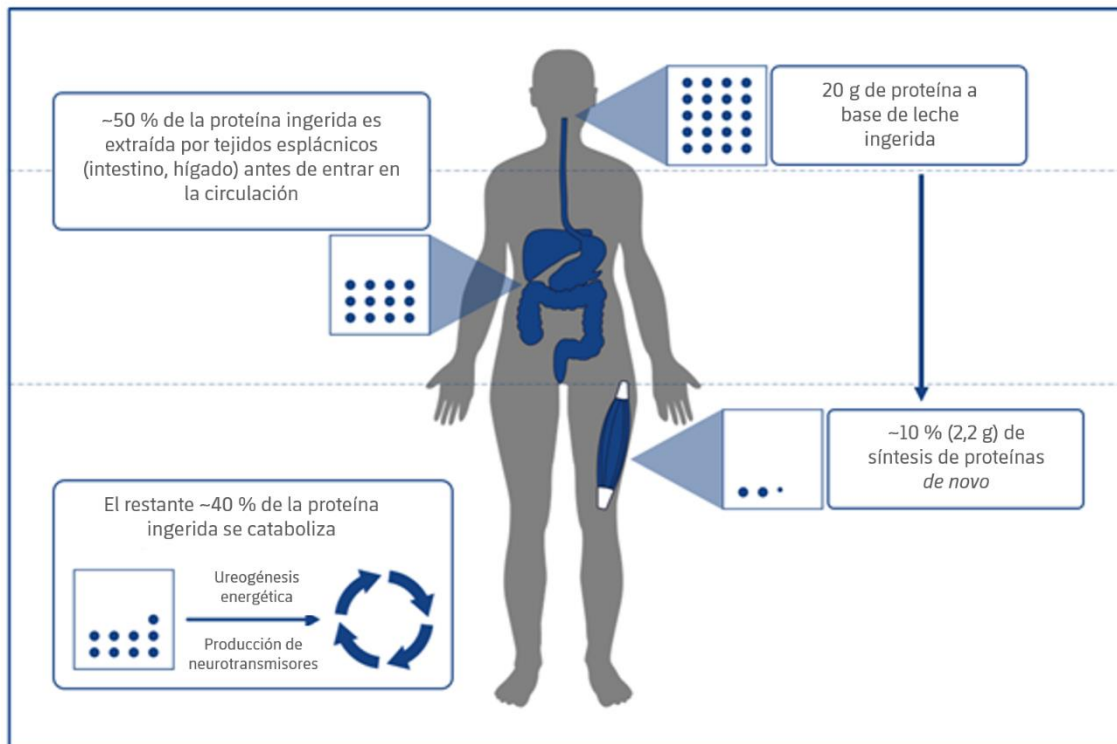
¿SABÍA QUE...?

Los tejidos espláncnicos son los órganos de la cavidad abdominal, incluido el hígado; el intestino delgado y el grueso; el estómago; y el páncreas.



Si bien el músculo esquelético es un gran reservorio para la retención de aminoácidos, no todos los aminoácidos liberados en el plasma se incorporan en nuevo tejido musculoesquelético. En un estudio que utilizó un abordaje de marcador intrínsecamente identificado, Groen y et al. (2015) demostraron que aproximadamente solo 2,2 g o el 10 % de los aminoácidos proporcionados a hombres jóvenes después de la ingesta de 20 g de proteína de caseína se utilizaron para la síntesis de proteínas. El uso fue bajo, a pesar de que aproximadamente el 55 % de los aminoácidos ingeridos estaban disponibles en la circulación periférica después de la extracción esplácnica (Groen, Horstman et al. 2015). Los aminoácidos restantes se descomponen y sirven como sustratos para una gama de procesos metabólicos, desde la producción de energía y la síntesis de urea hasta, en menor medida, la producción de neurotransmisores. Por lo tanto, curiosamente, solo el 10 % de la proteína ingerida se utiliza para desarrollar nuevo tejido musculoesquelético (Stokes, Hector et al. 2018) (Figura 7).

Figura 7: Un resumen de la digestión y la absorción de las proteínas y la correspondiente disponibilidad y uso de las proteínas después de la ingesta de 20 g.



Fuente: modificado de Stokes, Hector y et al., 2018.

Resumen

- Las proteínas en el cuerpo del jugador están compuestas de unidades más pequeñas, llamadas aminoácidos.
- Las proteínas tienen una enorme variedad de roles y funciones en el cuerpo del jugador.
- Las proteínas se pueden proporcionar al cuerpo a través de alimentos de origen animal y vegetal.
- Los aminoácidos pueden clasificarse como "esenciales" y "no esenciales", debiendo los aminoácidos esenciales ser ingeridos a través de la dieta.

Unidad 2.2 Proteínas y fútbol

Todas las proteínas son proteínas integrales o funcionales. Las fibras contráctiles dentro de los músculos y las enzimas necesarias para el metabolismo dentro del cuerpo de un jugador representan ejemplos de proteínas. Un jugador hombre promedio de 70 kg tiene alrededor de 12 kg de proteína y 220 g de aminoácidos libres. Las proteínas se descomponen constantemente en aminoácidos, los cuales quedan disponibles para la síntesis de otras proteínas. Los nuevos aminoácidos se suministran a través de la dieta del jugador, mientras que el exceso de aminoácidos se metaboliza como ácidos grasos o glucosa. El músculo es un tejido importante, responsable del metabolismo de entre el 20 y el 30 % de las proteínas de todo el cuerpo. Muchas de las adaptaciones que nos interesan para apoyar el desempeño en el fútbol ocurren dentro del músculo.

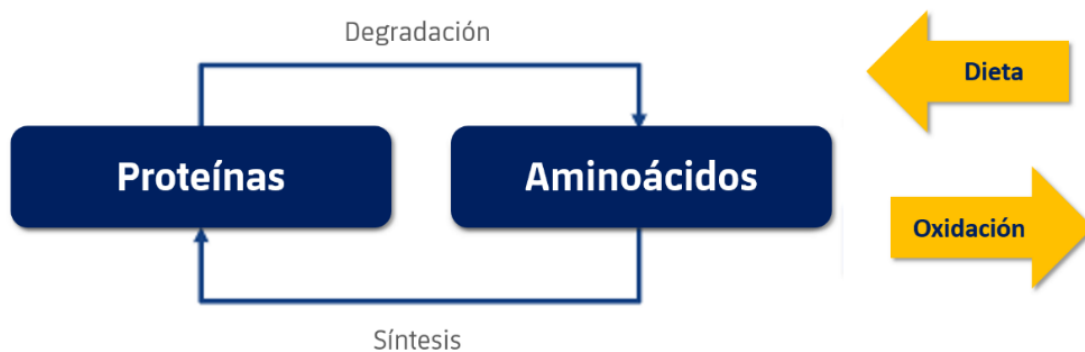
Renovación proteica

Las proteínas dentro del cuerpo del jugador se sintetizan y degradan continuamente en un proceso llamado renovación proteica. Es necesario que los componentes celulares sean reemplazados y regulados finamente en respuesta a los cambios en el entorno celular. Este proceso de renovación proteica es altamente dinámico y, como tal, requiere de mucha energía, ya que representa aproximadamente el 20 % del gasto energético basal diario.

La producción de la síntesis neta de proteínas depende del equilibrio de la síntesis y la degradación de proteínas. Si las tasas de degradación proteica son mayores que las tasas de síntesis, habrá una disminución del contenido proteico; por el contrario, el contenido proteico del músculo solo puede aumentar si la tasa de síntesis es mayor que la de degradación (Lanham-New, MacDonald et al. 2011).

Las investigaciones se han concentrado mayormente en la síntesis de proteínas, pero ambos procesos (degradación y síntesis) son importantes (Figura 1). Se cree que la síntesis de proteínas es el principal propulsor de un equilibrio proteico positivo porque la degradación de proteínas no cambia tanto. Por otro lado, también se cree que la degradación de proteínas es importante para eliminar las proteínas dañadas y permitir la síntesis de proteínas nuevas. La clave para una recuperación rápida de los jugadores de fútbol es aumentar la renovación proteica (tanto la síntesis como la degradación), no solo reducir la degradación (Phillips and Van Loon 2011).

Figura 8: Resumen de la renovación proteica



Fuente: elaboración propia.

El proceso de la síntesis de proteínas

En estado de ayuno, la degradación de proteínas es mayor que la síntesis de proteínas (Biolo, Maggi et al. 1995). En respuesta a la alimentación con proteínas o aminoácidos, la síntesis de proteínas aumentará y el balance neto de proteínas se volverá positivo (Biolo, Tipton et al. 1997). Es la contribución de estos períodos de alimentación y ayuno al balance total de proteínas lo que dicta la remodelación muscular con el tiempo (Phillips 2004).

El ejercicio realizado en el fútbol incrementa tanto la degradación de las proteínas musculares como su síntesis. Sin embargo, en ausencia de proteínas en la dieta, el balance neto de proteínas se mantendrá negativo. Por lo tanto, la ingesta de proteínas es importante después de los partidos y las sesiones de entrenamiento duro para lograr un balance neto de proteínas positivo. Además de los efectos generales del ejercicio, el fútbol implica muchas desaceleraciones (contracciones excéntricas) y el contacto entre los jugadores, y es bien sabido que esto puede generar daño muscular. La ingesta de proteínas es, por lo tanto, aconsejable para contribuir a la reparación del tejido muscular y otras lesiones potenciales (Res 2014).

Hay una serie de factores que afectan la respuesta sintética de las proteínas musculares después del ejercicio, incluidos los siguientes:

- El estímulo del ejercicio (fútbol)
- La cantidad de proteína ingerida
- El tipo de proteína ingerida
- El momento de la ingesta
- La frecuencia de la ingesta
- La ingesta conjunta de otros nutrientes

Estímulo futbolístico

El entrenamiento físico para el fútbol es un importante estimulador de la síntesis de proteínas, ya que el modo de ejercicio determina el tipo de proteínas que se sintetizan (Phillips and Van Loon 2011). En general, el ejercicio de carga dedicado aumentará la masa

muscular, mientras que el ejercicio de resistencia estimulará la biogénesis mitocondrial y la calidad del músculo existente sin un aumento en la masa (o tamaño) (Cermak, Res et al. 2012). Las variables clave en cualquier tipo de ejercicio son el esfuerzo, el tiempo bajo tensión, el volumen, la frecuencia de las rondas, el estrés metabólico y la edad de entrenamiento del individuo. Para obtener más detalles sobre los efectos específicos del ejercicio de carga en las ganancias de fuerza, consulte revisiones especializadas (Hoff and Helgerud 2004). Los efectos de la ingesta de proteínas son relativamente pequeños en comparación con los efectos del ejercicio; pero, de igual manera, son valiosos. En el fútbol, una visión desactualizada es que el ejercicio de tipo de carga hará que el jugador se vuelva "demasiado musculoso". Los abordajes modernos utilizan un ejercicio de carga adecuado para complementar el programa de entrenamiento de los jugadores para mejorar los marcadores de desempeño y reducir el riesgo de lesiones (Hoff 2005, Zouita, Zouita et al. 2016).

Cantidad de proteínas para el fútbol

Varios estudios han investigado la relación dosis-respuesta entre la ingesta de proteínas y la síntesis de proteínas. El primer estudio fue completado por Moore et al. (2009), quienes dieron proteína de huevo entero a los participantes en dosis de 5 a 40 g (5, 10, 20 y 40 g) (Moore, Robinson et al. 2009). La síntesis de proteínas después del ejercicio de carga aumentó linealmente al incrementar la dosis de 5 a 20 g, pero 40 g no generaron un aumento adicional en la síntesis de proteínas. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que aproximadamente una porción de veinte gramos era la dosis requerida para alcanzar la síntesis óptima de proteínas. Estos hallazgos se confirmaron posteriormente en un estudio que investigó la ingesta de proteínas en varones jóvenes y sanos (Witard, Jackman et al. 2014). Si bien no había suficientes pruebas sólidas, parecía razonable suponer que los requisitos dependían de la masa muscular y, por lo tanto, las recomendaciones a veces se expresaban en kilogramos de masa corporal. Moore et al. (2015) utilizaron un abordaje estadístico para llegar a una cifra de 0,25 g de proteína por kg de masa corporal del jugador por comida (Moore, Churchward-Venne et al. 2015). Sin embargo, Macnaughton et al. (2016) plantearon nuevas preguntas. En este estudio, los participantes realizaron ejercicios de todo el cuerpo en lugar de ejercitar grupos musculares individuales como en los estudios anteriores. Se observó que la ingesta de 40 g de proteínas generó una mayor síntesis de proteínas que 20 g (Macnaughton, Wardle et al. 2016). Por lo tanto, las recomendaciones hasta ahora pueden haber subestimado los requisitos para una síntesis óptima de proteínas luego del ejercicio que involucra la masa muscular de todo el cuerpo. Así, aunque las recomendaciones generales de 20 a 25 g son relevantes para la mayoría de las ocasiones futbolísticas, cuando los jugadores realizan ejercicios de todo el cuerpo, utilizando un gran porcentaje de su masa muscular, puede ser necesario incrementar la ingesta de proteínas a 30-40 g o 0,3-0,5 g/kg/comida. Es importante reconocer que las ingestas de 30 a 40 g de proteína y superiores representan una gran "carga" de proteínas. Algunos jugadores pueden tener dificultades para ingerir constantemente esta cantidad de proteína a través de la elección de alimentos o la suplementación. En estas situaciones, cierta cantidad de proteína será mejor que nada de proteína. Los jugadores pueden trabajar para implementar las recomendaciones, pero se debe presentar una variedad de opciones para satisfacer la ingesta de proteínas y adaptarse a las preferencias individuales del jugador.

Históricamente, ha habido un dogma con respecto a las implicaciones para la salud de ingerir una gran cantidad de proteínas en la dieta o complementar la dieta con aminoácidos. Una revisión sistemática y un metaanálisis de los estudios disponibles concluyeron que no hay pruebas de implicaciones a largo plazo para la salud o de daño a los riñones o la función renal con dietas altas en proteína (Devries, Sithamparapillai et al. 2018).

Momento oportuno para las proteínas en el fútbol

A menudo se sugiere que es crítico ingerir proteínas inmediatamente después del ejercicio, cuando hay "un margen de oportunidad" para la síntesis óptima de proteínas. De hecho, los estudios han sugerido que las tasas de síntesis de proteínas después del ejercicio son altas cuando la proteína se ingiere inmediatamente después del ejercicio, pero este margen puede no ser tan crítico como a menudo se sugiere (Morton, McGlory et al. 2015). Se ha demostrado que, después del ejercicio de carga, la degradación de las proteínas musculares permanece elevada durante 24 horas y la síntesis de proteínas musculares, durante 48 horas; mientras que se ha demostrado que la síntesis de proteínas musculares en respuesta a una comida permanece elevada por hasta 24 horas (Burd, West et al. 2011). También se ha demostrado que se pueden obtener resultados de síntesis similares al ingerir proteínas justo antes del ejercicio o incluso durante el ejercicio (Tipton 2007, Beelen, Koopman et al. 2008). Por lo tanto, el momento puede no ser tan crítico como a menudo se sugiere pero, desde un punto de vista puramente pragmático, sigue teniendo sentido comenzar la ingesta de proteínas directamente después del ejercicio para una recuperación óptima, especialmente si hay un tiempo limitado disponible hasta el próximo partido o sesión de entrenamiento importante. El período inmediatamente posterior al ejercicio (entrenamiento o partido) también es un momento en que los jugadores aún se encuentran en un entorno controlado, y los nutricionistas, los instructores, los entrenadores u otro personal pueden asegurarse de que los jugadores ingieran al menos una cierta cantidad de líquidos, carbohidratos y proteínas para comenzar las 3 R de la recuperación (rehidratación, recarga y reparación).

Es importante tener en cuenta que "inmediatamente" después del ejercicio no es realista para la mayoría de las situaciones de fútbol. Durante un partido, por ejemplo, cuando un jugador ha sido reemplazado, la sangre del jugador aún se redistribuirá desde el sistema gastrointestinal hacia el músculo del jugador. Así, se recomienda esperar de 5 a 10 minutos para permitir que el jugador se "recupere" del ejercicio y permitir que el flujo sanguíneo regrese al sistema gastrointestinal antes de ingerir proteínas. Este principio es el mismo para situaciones de entrenamiento y para inmediatamente después de un partido.

Debido a que los requisitos nutricionales posteriores al ejercicio son multifactoriales (rehidratación, resíntesis de glucógeno, síntesis de proteínas miofibrilares/mitocondriales), es importante tener en cuenta que la ingesta de proteínas posterior al ejercicio se puede lograr sin comprometer la rehidratación del jugador (James, Mattin et al. 2014). En el fútbol, un método conveniente para lograr los requisitos de recuperación es proporcionar proteína en "batidos" o bebidas con posterioridad al ejercicio. Esta forma de suministrar proteína después del ejercicio presenta varias ventajas clave: (1) la ingesta de líquidos y carbohidratos se puede lograr simultáneamente;

(2) es más fácil de ingerir que los alimentos sólidos; (3) la composición y el sabor del batido pueden modificarse; (4) los nutricionistas pueden verificar fácilmente si el jugador se ha adherido a la estrategia de recuperación.

¿SABÍA QUE...?

El flujo sanguíneo (gasto cardíaco) se redistribuye durante el ejercicio. Durante el ejercicio intenso, aproximadamente el 80 % de la sangre se distribuirá a los músculos que trabajan. El flujo sanguíneo al sistema gastrointestinal se reducirá a aproximadamente el 5 % del gasto cardíaco en comparación con el 25 % en reposo.

Frecuencia de la ingesta de proteínas para el fútbol

Muy pocos estudios han investigado los efectos de la frecuencia de las comidas en la síntesis de proteínas. En un estudio, se investigaron las comidas con proteína de suero de leche más pequeñas y más frecuentes en comparación con una ingesta mayor y menos frecuente de la misma proteína. Areta et al. (2013) midieron la síntesis de proteínas durante un período de doce horas después de la ingesta de 2 x 40 g cada 6 horas, 4 x 20 g cada 3 horas u 8 x 10 g cada hora y media. Según este estudio, proporcionar una comida que contuviera 20 g cada 3 horas parecía ser óptimo (Areta, Burke et al. 2013). Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos estudios son más bien artificiales, porque las comidas consisten en proteínas puras y se suministran normalmente como bebidas. Se sabe que las respuestas sintéticas de las proteínas se ven afectadas por otros nutrientes y, así, cuando se consumen comidas normales (incluidos los carbohidratos y las grasas), las respuestas pueden ser muy diferentes. Por ahora, según las pruebas disponibles, se recomienda que los jugadores ingieran comidas regulares cada 3-4 horas que contengan proteínas adecuadas (de 20 a 40 g).

Pruebas recientes sugieren que una de las comidas con proteínas debería consumirse antes de acostarse. Normalmente, durante el sueño (un período de ayuno) la degradación de las proteínas excederá la síntesis de proteínas. Se ha demostrado que ingerir proteínas (40 g de caseína) justo antes de acostarse convierte este período de sueño en un período de síntesis neta de proteínas (Res, Groen et al. 2012). Un estudio de entrenamiento de doce semanas mostró que darles a los deportistas 27,5 g de proteínas (con 15 g de carbohidratos) después del entrenamiento y antes de dormir mejoró la masa muscular y las ganancias de fuerza en comparación con un placebo (Snijders, Res et al. 2015). Esto puede ser particularmente importante si el entrenamiento se completa al final del día. Esto se debe a que un estudio reciente ha demostrado que el entrenamiento realizado en la noche aumenta la respuesta sintética de las proteínas musculares durante la noche a la ingesta de proteínas previa al sueño, lo que permite que más aminoácidos ingeridos derivados de proteínas se utilicen para la síntesis de proteínas miofibrilares (Trommelen, Holwerda et al. 2016). Es importante tener en cuenta que Wall y sus colegas informaron que la ingesta de proteínas antes de dormir no compromete la respuesta sintética de las proteínas musculares a la proteína ingerida a la mañana siguiente (Wall, Burd et al. 2016). Se ha informado que los jugadores profesionales ingieren solo 0,1 g de proteína por kg de masa corporal antes de acostarse, lo que destaca una oportunidad importante para incorporar mejores opciones nutricionales que pueden optimizar las adaptaciones al entrenamiento (Anderson, Orme et al. 2017). Por ejemplo, Abbott y sus colegas investigaron el efecto de ingerir 40 g de caseína o 40 g de carbohidratos 30 minutos antes

de dormir en jugadores profesionales. En este estudio, se proporcionaron la proteína o los carbohidratos después de un partido en la noche (inicio a las 7:00 p. m.). Se encontró que la ingesta de caseína aceleró la recuperación funcional, medida por la altura de salto de contramovimiento, el índice de fuerza reactiva, el dolor muscular y el estado anímico (Abbott, Brett et al. 2018). Así, la información disponible sugeriría que los jugadores pueden beneficiarse del desarrollo de una rutina que incluya ingerir una bebida o una comida que contenga de 30 a 40 g de proteína de caseína antes de acostarse (Trommelen, Kouw et al. 2018).

Tipo de proteína para el fútbol

Uno de los factores importantes que gobiernan la respuesta sintética de las proteínas musculares puede ser la composición de aminoácidos de la fuente ingerida. Específicamente, la proteína debería contener todos los aminoácidos esenciales (Unidad 1). Quizás el más importante de estos aminoácidos esenciales es la leucina, que estimula la diana de rapamicina complejo 1, una proteína de señalización clave considerada el principal disparador de los aumentos en la síntesis de proteínas musculares. La proteína animal contiene más leucina en comparación con las fuentes vegetales (van Loon 2012).

La proteína de suero de leche puede ser rápidamente digerida y absorbida, y contiene una proporción relativamente alta de leucina. Por ejemplo, 20 g de suero de leche aportan aproximadamente 2,5 g de leucina. También se ha demostrado que el suero de leche provoca una síntesis de proteínas musculares superior en comparación con la soja o la caseína, cuando se toma en cantidades isocalóricas (Tang, Moore et al. 2009). En este estudio, el suero de leche parecía ser mejor que la soja; y la soja, mejor que la caseína. En general, las proteínas de origen vegetal contienen menos leucina en comparación con el suero de leche; por lo tanto, es probable que sea necesario ingerir más proteína de origen vegetal para maximizar la síntesis de proteínas musculares. Por lo tanto, la proteína de suero de leche (o buenas fuentes de ella) se considera la proteína preferencial que ingerir directamente después del ejercicio. Sin embargo, las mezclas de proteína (por ejemplo, la proporción 1:2:1 de suero:caseína:soja) pueden ser tan efectivas como lo anterior, siempre que el contenido de leucina sea alto (Reidy, Walker et al. 2013).

Las investigaciones sugieren que la leucina por encima de una cierta concentración (en el músculo) dispara la síntesis de proteínas. Puede ser importante alcanzar este nivel para estimular la síntesis de proteínas y, de este modo, en ausencia de ejercicio, las comidas deben contener esta cantidad de leucina (que se cree que es de alrededor de 3 g) (Churchward-Venne, Breen et al. 2014). Aunque a menudo se afirma que los aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina y valina) estimulan la síntesis de proteínas, no hay pruebas de esto. Es probable que la isoleucina y la valina compitan con la leucina para transportarse a las células (Hyde, Taylor et al. 2003). Por lo tanto, los aminoácidos ramificados pueden generar un antagonismo competitivo para la captación y pueden no ser tan efectivos como la leucina sola. En resumen, para maximizar la síntesis de proteínas musculares posterior al ejercicio, el jugador puede requerir una ingesta alta de leucina (~3 g) y aminoácidos esenciales o simplemente una cantidad suficiente de proteínas, independientemente de la fuente (Gorissen, Crombag et al. 2018).

¿SABÍA QUE...?

Isocalórico simplemente significa que tiene el mismo valor calorífico/calórico.

Otros nutrientes

Otros nutrientes ingeridos con la proteína pueden afectar la respuesta sintética de la proteína. Algunos estudios han investigado la ingesta conjunta de proteínas con carbohidratos para determinar el impacto en la recuperación del glucógeno muscular y la respuesta sintética. Parece que, cuando se ingieren carbohidratos adecuados, la proteína no aumenta la restauración del glucógeno y, a la inversa, cuando se ingieren proteínas adecuadas, los carbohidratos adicionales no mejoran la síntesis de proteínas musculares (van Loon, Saris et al. 2000, Betts and Stevenson 2011). Sin embargo, es intuitivo combinar la ingesta de proteínas y carbohidratos después del entrenamiento y los partidos, con el fin de obtener los beneficios de recuperación mencionados anteriormente. El contenido de grasa de una comida (y posiblemente, la fibra) puede cambiar el suministro de los aminoácidos y, así, tiene el potencial de afectar la síntesis de proteínas. Estas interacciones entre los nutrientes y los efectos de las comidas mixtas se han estudiado muy poco, y se deben realizar extrapolaciones a partir de estudios de laboratorio relativamente "poco naturales" en los que solo se ingirió proteína. Sin embargo, curiosamente, los estudios están comenzando a observar los alimentos en lugar de los ingredientes. En el futuro, las investigaciones probablemente tendrán como centro de atención las comidas en lugar de los alimentos. Se espera que estos estudios proporcionen una mejor comprensión de la densidad de nutrientes en la síntesis de proteínas musculares (Abou Sawan, van Vliet et al. 2018). Desafortunadamente, es demasiado pronto para sacar conclusiones definitivas sobre qué comidas serían las mejores para estimular la síntesis de proteínas. En su lugar, se recomienda ofrecer una gran variedad de opciones diferentes de comidas para cumplir con los requisitos de proteínas durante la temporada competitiva. Los ácidos grasos omega 3 también se han mencionado como una manera de aumentar la sensibilidad de la síntesis de proteínas a la ingesta de proteínas, y esto se analizará más adelante en el Módulo 3.

Requisitos diarios de proteínas para el fútbol

Se ha recomendado que la ingesta diaria de proteínas para los jugadores de fútbol esté en el rango de 1,4 a 1,7 g/kg (Lemon 1994). Sin embargo, estas recomendaciones se basan en estudios de balance de nitrógeno y, por lo tanto, una cantidad mínima de proteínas debe mantenerse en el balance de proteínas. Estas recomendaciones de ingesta no se basan en lo que es óptimo para la estimulación de la síntesis de proteínas musculares. Todavía hay un debate considerable sobre cuánta proteína alimentaria se requiere para el desempeño "óptimo" en el fútbol y la recuperación del jugador (Phillips and Van Loon 2011).

En situaciones extremas, la ingesta diaria de proteínas por encima de las recomendaciones generales ha demostrado tener beneficios que van más allá de mejorar la síntesis de proteínas musculares. Cuando la ingesta diaria de proteínas se elevó de 1,5 g/kg a 3 g/kg, la tolerancia al entrenamiento intensificado se incrementó (Witard, Jackman et al. 2011) y la función inmune se mantuvo mejor, lo que generó menos

infecciones del tracto respiratorio superior (Witard, Turner et al. 2014). Además, se ha demostrado que la ingesta diaria elevada de proteínas en el rango de 2,3 g/kg mantiene mejor la masa muscular ante un déficit de energía (Mettler, Mitchell et al. 2010). Por lo tanto, aumentar la ingesta habitual de proteína puede ser beneficioso cuando los jugadores participan en un entrenamiento intensivo de pretemporada, cuando viajan frecuentemente o durante períodos en los que deben jugar muchos partidos.

El aumento de la ingesta de proteína de los jugadores se puede lograr fácilmente a través de alimentos normales ricos en proteínas, como la carne, los huevos, las legumbres y los productos lácteos, que proporcionan nutrientes adicionales (Phillips 2014). Encuestas alimentarias recientes sugieren que los jugadores profesionales cumplen fácilmente con estos requisitos proteicos. De hecho, en los jugadores profesionales de la Premier League inglesa, la cantidad de proteína diaria fue constante durante un período de entrenamiento de siete días en la temporada, y fue de aproximadamente 2-2,5 g/kg de masa corporal por día (Anderson, Orme et al. 2017). Esta ingesta (aproximadamente 200 g por día) fue mayor que la informada (<150 g/día) previamente por los jugadores adultos de las ligas escocesas (Maughan 1997). Con la planificación alimentaria, los suplementos de proteína probablemente no sean necesarios para la mayoría de los jugadores, aunque ofrecen una alternativa conveniente (especialmente en los períodos posteriores al entrenamiento) y fácilmente digerible a los alimentos.

Se ha informado que los jugadores de fútbol modifican su patrón de ingesta diaria de proteínas. Parece que, al menos en el fútbol inglés, una cantidad absoluta de proteínas se consumió en el siguiente orden jerárquico: cena>almuerzo>desayuno>bocadillos. Este patrón teóricamente no favorecería una estimulación óptima de la síntesis de proteínas en cada comida. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los jugadores informan de un consumo general de ~0,3-0,4 g/kg de MC en las comidas principales (Anderson, Orme et al. 2017), lo cual es consistente con las recomendaciones.

En ocasiones, cuando los jugadores estén controlando la masa corporal a través de la restricción de energía, es probable que los requerimientos de proteínas aumenten (Phillips 2014). En estas ocasiones, es poco probable que los jugadores pierdan grasa y ganen músculo simultáneamente (Churchward-Venne, Murphy et al. 2013). En cambio, es la preservación de la masa muscular y la reducción de la masa grasa lo que genera un mejor perfil de la composición corporal. Por este motivo, es prudente recomendar una mayor ingesta de proteínas dependiendo de la carga de entrenamiento y otras tensiones metabólicas, como la pérdida de peso o la rehabilitación de una lesión (Milsom, Barreira et al. 2014, Wall, Morton et al. 2015). Por lo tanto, la ingesta diaria de proteína para los jugadores de fútbol puede oscilar entre 1,5 y 3 g/kg/día. Las recomendaciones de proteína deben perfeccionarse con consideraciones del jugador individual en cuanto al requerimiento de energía total, las necesidades específicas de entrenamiento y la retroinformación del desempeño en el entrenamiento/la competición.

Tabla 2: Directrices de proteínas para el fútbol

Ocasión	Objetivos proteicos	Principios
Ingesta diaria	De 1,5 a 3,0/kg de MC/día	Comidas que contengan de 20 a 40g de proteínas ingeridas rutinariamente (intervalos de 3h) durante el día
Ejercicio	De 20 a 40g de proteína de alta calidad que contenga de 2 a 3g de leucina	Ingesta inmediatamente posterior al ejercicio para apoyar la adaptación
Sueño	30g de caseína	Ingesta antes de dormir

Fuente: elaboración propia.

Proteínas para tendones y tejido conectivo

Los tendones y los tejidos conectivos como los ligamentos son esenciales para el rendimiento en el fútbol, ya que son los tejidos que forman el sistema musculoesquelético y estabilizan el movimiento alrededor de las articulaciones. Las distensiones y los esguinces de las partes blandas (tendones y ligamentos) representan más del 60 % de todas las lesiones declaradas en la Premier League inglesa (Hawkins, Hulse et al. 2001). La fisiología de los tendones y los ligamentos es diferente a la de los músculos (Kjaer, Langberg et al. 2009). Esto se debe a que los tendones y los ligamentos tienen un flujo sanguíneo limitado y dependen del suministro de nutrientes mediante el flujo de fluidos masivo (Baar 2015). La renovación del tendón es significativamente menor que la del músculo.

Existen pruebas preliminares que indican que hay oportunidades para el remodelado del tejido del tendón que pueden incrementarse mediante la nutrición. Esto se debe a que la proteína ingerida se puede adherir a los sucesivos anillos de colágeno que rodean el núcleo, lo que haría que la estructura sea más fuerte. Específicamente, se ha descubierto que la ingesta de gelatina es efectiva para el aumento de las concentraciones circulantes de los aminoácidos glicina, prolina, hidroxiprolina e hidroxilisina (Shaw, Lee-Barthel et al. 2016). Además, la ingesta de gelatina (15 g ingeridos con 50 mg de vitamina C) 1 hora antes de realizar ejercicio aumentó los marcadores sanguíneos (propéptido aminoterminal del colágeno tipo I) vinculados con una mayor síntesis de colágeno (Shaw, Lee-Barthel et al. 2016). Aunque es necesario seguir investigando, la ingesta de gelatina es una intervención nutricional prometedora para mejorar tanto la función de los tejidos conectivos como la velocidad de recuperación de heridas musculoesqueléticas. Además, esta intervención puede ser de gran importancia para aquellas poblaciones que experimentan una alta incidencia de lesiones en los ligamentos, como la de las jugadoras mujeres (Celebrini, Eng et al. 2012, Celebrini, Eng et al. 2014, De Ste Croix, Priestley et al. 2015).

Debido a la baja tasa de renovación de los tendones, es probable que los jugadores tengan la misma proteína "núcleo" en los tendones entre los 17 y los 70 años (Heinemeier, Schjerling et al. 2013). Por lo tanto, los jugadores tendrán los mismos tendones a lo largo de su carrera competitiva. Sin embargo, así como los estudios realizados con proteína

(prolina) y vitamina C han demostrado una mejora en la síntesis de colágeno (Paxton, Grover et al. 2010), el remodelado a lo largo de la temporada es posible con una carga y una nutrición apropiadas (Shaw, Lee-Barthel et al. 2016).

Resumen

- La proteína alimentaria es importante para el proceso de recuperación y adaptación después del ejercicio de fútbol.
- La ingesta diaria de proteínas de los jugadores (de 1,5 a 3 g/kg de MC) debería ser relativa a su masa corporal, la fase de la temporada y la cantidad de masa muscular utilizada durante el ejercicio.
- Para maximizar la síntesis de proteínas musculares posterior al ejercicio, el jugador necesitará una proteína con un alto contenido de leucina o una cantidad suficiente de proteínas, independientemente de la fuente.
- La ingesta de proteínas debe distribuirse de manera uniforme a lo largo del día (cada 3 o 4 horas aproximadamente) y debe intensificarse después del ejercicio.
- La alimentación con proteínas (~30 g de caseína) antes de acostarse ofrece una oportunidad adicional para acelerar la recuperación y mejorar la adaptación.
- Exención de responsabilidad: Ian Rollo trabaja en el Gatorade Sports Science Institute, una división de PepsiCo, Inc. Las perspectivas que se expresan en este curso corresponden a los autores y no necesariamente reflejan la postura ni la política de PepsiCo, Inc.

Referencias

Abbott, W., A. Brett, E. Cockburn y T. Clifford (2018). "Presleep Casein Protein Ingestion: Acceleration of Functional Recovery in Professional Soccer Players". Int J Sports Physiol Perform: 1-24.

Abou Sawan, S., S. van Vliet, D. W. D. West, J. W. Beals, S. A. Paluska, N. A. Burd y D. R. Moore (2018). "Whole egg, but not egg white, ingestion induces mTOR colocalization with the lysosome after resistance exercise". Am J Physiol Cell Physiol **315**(4): C537-C543.

Albertus, Y., R. Tucker, A. St Clair Gibson, E. V. Lambert, D. B. Hampson y T. D. Noakes (2005). "Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling". Medicine and Science in Sports and Exercise **37**(3): 461-468.

Anderson, L., P. Orme, R. Naughton, G. Close, J. Milsom, D. Rydings, A. O'Boyle, R. Di Michele, J. Louis, C. Hambley, J. Speakman, R. Morgans, B. Drust y J. Morton (2017). "Energy intake and expenditure of professional soccer players of the English Premier League: evidence of carbohydrate periodization". International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism **4**: 1-25.

Anderson, L., P. Orme, R. J. Naughton, G. L. Close, J. Milsom, D. Rydings, A. O'Boyle, R. Di Michele, J. Louis, C. Hambley, J. R. Speakman, R. Morgans, B. Drust y J. P. Morton (2017). "Energy Intake and Expenditure of Professional Soccer Players of the English Premier League: Evidence of Carbohydrate Periodization". Int J Sport Nutr Exerc Metab: 1-25.

Areces, F., J. J. Salinero, J. Abian-Vicen, C. González-Millan, C. Gallo-Salazar, D. Ruiz-Vicente, B. Lara y J. Del Coso (2014). "A 7-day oral supplementation with branched-chain amino acids was ineffective to prevent muscle damage during a marathon". Amino Acids **46**(5): 1169-1176.

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 y V. G. Coffey (2013). "Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis". J Physiol **591**(Pt 9): 2319-2331.

Baar, K. (2015). "TRAINING AND NUTRITION TO PREVENT SOFT TISSUE INJURIES AND ACCELERATE RETURN TO PLAY". Sports Science Exchange **28**(142): 1-6.

Beelen, M., R. Koopman, A. P. Gijsen, H. Vandereyt, A. K. Kies, H. Kuipers, W. H. Saris y L. J. van Loon (2008). "Protein coingestion stimulates muscle protein synthesis during resistance-type exercise". Am J Physiol Endocrinol Metab **295**(1): E70-77.

Betts, J. A. y E. Stevenson (2011). "Should protein be included in CHO-based sports supplements?" Med Sci Sports Exerc **43**(7): 1244-1250.



Biolo, G., S. P. Maggi, B. D. Williams, K. D. Tipton y R. R. Wolfe (1995). "Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans". Am J Physiol **268**(3 Pt 1): E514-520.

Biolo, G., K. D. Tipton, S. Klein y R. R. Wolfe (1997). "An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein". Am J Physiol **273**(1 Pt 1): E122-129.

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 y 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**(4): 568-573.

Burke, L. M., J. A. Hawley, M. L. Ross, D. R. Moore, S. M. Phillips, G. R. Slater, T. Stellingwerff, K. D. Tipton, A. P. Garnham y V. G. Coffey (2012). "Preexercise aminoacidemia and muscle protein synthesis after resistance exercise". Med Sci Sports Exerc **44**(10): 1968-1977.

Celebrini, R. G., J. J. Eng, W. C. Miller, C. L. Ekegren, J. D. Johnston, T. A. Depew y D. L. Macintyre (2014). "Effect of a novel movement strategy in decreasing ACL risk factors in female adolescent soccer players: a randomized controlled trial". Clin J Sport Med **24**(2): 134-141.

Celebrini, R. G., J. J. Eng, W. C. Miller, C. L. Ekegren, J. D. Johnston y D. L. MacIntyre (2012). "The effect of a novel movement strategy in decreasing ACL risk factors in female adolescent soccer players". J Strength Cond Res **26**(12): 3406-3417.

Cermak, N. M., P. T. Res, L. C. de Groot, W. H. Saris y L. J. van Loon (2012). "Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis". Am J Clin Nutr **96**(6): 1454-1464.

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 y 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**(2): 276-286.

Churchward-Venne, T. A., C. H. Murphy, T. M. Longland y S. M. Phillips (2013). "Role of protein and amino acids in promoting lean mass accretion with resistance exercise and attenuating lean mass loss during energy deficit in humans". Amino Acids **45**(2): 231-240.

Comerford, K. B. y G. Pasin (2016). "Emerging Evidence for the Importance of Dietary Protein Source on Glucoregulatory Markers and Type 2 Diabetes: Different Effects of Dairy, Meat, Fish, Egg, and Plant Protein Foods". Nutrients **8**(8).

De Ste Croix, M. B., A. M. Priestley, R. S. Lloyd y J. L. Oliver (2015). "ACL injury risk in elite female youth soccer: Changes in neuromuscular control of the knee following soccer-specific fatigue". Scand J Med Sci Sports **25**(5): e531-538.



Devries, M. C., A. Sithamparapillai, K. S. Brimble, L. Banfield, R. W. Morton y S. M. Phillips (2018). "Changes in Kidney Function Do Not Differ between Healthy Adults Consuming Higher- Compared with Lower- or Normal-Protein Diets: A Systematic Review and Meta-Analysis". J Nutr **148**(11): 1760-1775.

Gorissen, S. H. M., J. J. R. Crombag, J. M. G. Senden, W. A. H. Waterval, J. Bierau, L. B. Verdijk y L. J. C. van Loon (2018). "Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates". Amino Acids **50**(12): 1685-1695.

Groen, B. B., A. M. Horstman, H. M. Hamer, M. de Haan, J. van Kranenburg, J. Bierau, M. Poeze, W. K. Wodzig, B. B. Rasmussen y L. J. van Loon (2015). "Post-Prandial Protein Handling: You Are What You Just Ate". PLoS One **10**(11): e0141582.

Hawkins, R. D., M. A. Hulse, C. Wilkinson, A. Hodson y M. Gibson (2001). "The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football". Br J Sports Med **35**(1): 43-47.

Heinemeier, K. M., P. Schjerling, J. Heinemeier, S. P. Magnusson y M. Kjaer (2013). "Lack of tissue renewal in human adult Achilles tendon is revealed by nuclear bomb (14)C". FASEB J **27**(5): 2074-2079.

Hoff, J. (2005). "Training and testing physical capacities for elite soccer players". J Sports Sci **23**(6): 573-582.

Hoff, J. y J. Helgerud (2004). "Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations". Sports Med **34**(3): 165-180.

Howatson, G., M. Hoad, S. Goodall, J. Tallent, P. G. Bell y D. N. French (2012). "Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study". J Int Soc Sports Nutr **9**: 20.

Hyde, R., P. M. Taylor y H. S. Hundal (2003). "Amino acid transporters: roles in amino acid sensing and signalling in animal cells". Biochem J **373**(Pt 1): 1-18.

Institute of Medicine (IOM) Food and Nutrition Board, e. (2005). "Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. ". Washington, D.C. The National Academies Press.
<https://fnic.nal.usda.gov/dietary-guidance/dri-nutrient-reports/energy-carbohydrate-fiber-fat-fatty-acids-cholesterol-protein>.

James, L. J., L. Mattin, P. Aldiss, R. Adebishi y R. M. Hobson (2014). "Effect of whey protein isolate on rehydration after exercise". Amino Acids **46**(5): 1217-1224.

Kjaer, M., H. Langberg, K. Heinemeier, M. L. Bayer, M. Hansen, L. Holm, S. Doessing, M. Kongsgaard, M. R. Krogsgaard y S. P. Magnusson (2009). "From mechanical loading to collagen synthesis, structural changes and function in human tendon". Scand J Med Sci Sports **19**(4): 500-510.



Koopman, R., A. J. Wagenmakers, R. J. Manders, A. H. Zorenc, J. M. Senden, M. Gorselink, H. A. Keizer y L. J. van Loon (2005). "Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects". Am J Physiol Endocrinol Metab **288**(4): E645-653.

Lanham-New, S. A., I. A. MacDonald y H. M. Roche (2011). Nutrition and Metabolism, Wiley.

Lemon, P. W. (1994). "Protein requirements of soccer". J Sports Sci **12 Spec No**: S17-22.

Macnaughton, L. S., S. L. Wardle, O. C. Witard, C. McGlory, D. L. Hamilton, S. Jeromson, C. E. Lawrence, G. A. Wallis y 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**(15).

Maughan, R. J. (1997). "Energy and macronutrient intakes of professional football (soccer) players". Br J Sports Med **31**(1): 45-47.

Mettler, S., N. Mitchell y K. D. Tipton (2010). "Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes". Med Sci Sports Exerc **42**(2): 326-337.

Michelfelder, A. J. (2009). "Soy: a complete source of protein". Am Fam Physician **79**(1): 43-47.

Milsom, J., P. Barreira, D. J. Burgess, Z. Iqbal y J. P. Morton (2014). "Case study: Muscle atrophy and hypertrophy in a premier league soccer player during rehabilitation from ACL injury". Int J Sport Nutr Exerc Metab **24**(5): 543-552.

Moore, D. R., T. A. Churchward-Venne, O. Witard, L. Breen, N. A. Burd, K. D. Tipton y 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**(1): 57-62.

Moore, D. R., M. J. Robinson, J. L. Fry, J. E. Tang, E. I. Glover, S. B. Wilkinson, T. Prior, M. A. Tarnopolsky y S. M. Phillips (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.

Morton, R. W., C. McGlory y S. M. Phillips (2015). "Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy". Front Physiol **6**: 245.

Pasiakos, S. M., S. Agarwal, H. R. Lieberman y V. L. Fulgoni (2015). Sources and Amounts of Animal, Dairy, and Plant Protein Intake of US Adults in 2007–2010. Nutrients. **7**: 7058-7069.

Paxton, J. Z., L. M. Grover y K. Baar (2010). "Engineering an in vitro model of a functional ligament from bone to bone". Tissue Eng Part A **16**(11): 3515-3525.



Phillips, S. (2013). "Protein Consumption and Resistance Exercise: Maximizing Anabolic Potential". Sports Science Exchange **26**(107): 1-5.

Phillips, S. M. (2004). "Protein requirements and supplementation in strength sports". Nutrition **20**(7-8): 689-695.

Phillips, S. M. (2013). "Protein Consumption and Resistance Exercise: Maximizing Anabolic Potential". Sports Science Exchange **26**(107): 1-5.

Phillips, S. M. (2014). "Brief review of higher dietary protein diets in weight loss: a focus on athletes". Sports Med **44 Suppl 2**: S149-153.

Phillips, S. M. y L. J. Van Loon (2011). "Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation". J Sports Sci **29 Suppl 1**: S29-38.

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. Mukherjea, K. Jennings, E. Volpi y B. B. Rasmussen (2013). "Protein blend ingestion following resistance exercise promotes human muscle protein synthesis". J Nutr **143**(4): 410-416.

Remond, D., M. Machebeuf, C. Yven, C. Buffiere, L. Mioche, L. Mosoni y P. Patureau Mirand (2007). "Postprandial whole-body protein metabolism after a meat meal is influenced by chewing efficiency in elderly subjects". Am J Clin Nutr **85**(5): 1286-1292.

Rennie, M. J. y K. D. Tipton (2000). "Protein and amino acid metabolism during and after exercise and the effects of nutrition". Annu Rev Nutr **20**: 457-483.

Res, P. (2014). "RECOVERY NUTRITION FOR FOOTBALL PLAYERS". Sports Science Exchange **27** (129): 1-5.

Res, P. T., B. Groen, B. Pennings, M. Beelen, G. A. Wallis, A. P. Gijsen, J. M. Senden y V. A. N. L. LJ (2012). "Protein ingestion before sleep improves postexercise overnight recovery". Med Sci Sports Exerc **44**(8): 1560-1569.

Shaw, G., A. Lee-Barthel, M. L. Ross, B. Wang y K. Baar (2016). "Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis". Am J Clin Nutr.

Silk, D. B., G. K. Grimble y R. G. Rees (1985). "Protein digestion and amino acid and peptide absorption". Proc Nutr Soc **44**(1): 63-72.

Snijders, T., P. T. Res, J. S. Smeets, S. van Vliet, J. van Kranenburg, K. Maase, A. K. Kies, L. B. Verdijk y L. J. van Loon (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.

Stokes, T., A. J. Hector, R. W. Morton, C. McGlory y S. M. Phillips (2018). "Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training". Nutrients **10**(2).



Tang, J. E., D. R. Moore, G. W. Kujbida, M. A. Tarnopolsky y 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 (1985) **107**(3): 987-992.

Tipton, K. (2017). "Branched-chain amino acid supplementation to support muscle anabolism following exercise". Sports Science Exchange **28**, (170): 1-6.

Tipton, K. D. (2007). "Role of protein and hydrolysates before exercise". Int J Sport Nutr Exerc Metab **17 Suppl**: S77-86.

Trommelen, J., A. M. Holwerda, I. W. Kouw, S. L. Halson, L. B. Verdijk y L. J. van Loon (2016). "Protein Ingestion Before Sleep Provides Precursors For Post-exercise Overnight De Novo Muscle Protein Synthesis: 88 Board #4 June 1, 9: 30 AM - 11: 30 AM". Med Sci Sports Exerc **48**(5 Suppl 1): 4.

Trommelen, J., I. W. K. Kouw, A. M. Holwerda, T. Snijders, S. L. Halson, I. Rollo, L. B. Verdijk y L. J. C. van Loon (2018). "Presleep dietary protein-derived amino acids are incorporated in myofibrillar protein during postexercise overnight recovery". Am J Physiol Endocrinol Metab **314**(5): E457-E467.

van Loon, L. J. (2012). "Leucine as a pharmaconutrient in health and disease". Curr Opin Clin Nutr Metab Care **15**(1): 71-77.

van Loon, L. J., W. H. Saris, M. Kruijshoop y A. J. Wagenmakers (2000). "Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures". Am J Clin Nutr **72**(1): 106-111.

Volpi, E., H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, B. Mittendorfer y R. R. Wolfe (2003). "Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults". Am J Clin Nutr **78**(2): 250-258.

Wall, B. T., N. A. Burd, R. Franssen, S. H. Gorissen, T. Snijders, J. M. Senden, A. P. Gijsen y L. J. van Loon (2016). "Presleep protein ingestion does not compromise the muscle protein synthetic response to protein ingested the following morning". Am J Physiol Endocrinol Metab **311**(6): E964-E973.

Wall, B. T., J. P. Morton y L. J. van Loon (2015). "Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: nutritional considerations and exercise mimetics". Eur J Sport Sci **15**(1): 53-62.

Witard, O. C., S. R. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby y 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**(1): 86-95.

Witard, O. C., S. R. Jackman, A. K. Kies, A. E. Jeukendrup y K. D. Tipton (2011). "Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training". Med Sci Sports Exerc **43**(4): 598-607.

Witard, O. C., J. E. Turner, S. R. Jackman, A. K. Kies, A. E. Jeukendrup, J. A. Bosch y K. D. Tipton (2014). "High dietary protein restores overreaching induced impairments in leukocyte trafficking and reduces the incidence of upper respiratory tract infection in elite cyclists". Brain Behav Immun **39**: 211-219.

Zouita, S., A. B. Zouita, W. Keksi, G. Dupont, A. Ben Abderrahman, F. Z. Ben Salah y H. Zouhal (2016). "Strength Training Reduces Injury Rate in Elite Young Soccer Players During One Season". J Strength Cond Res **30**(5): 1295-1307.