

TRABAJO FIN DE GRADO



ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA OPTIMIZAR LA
HIPERTROFIA

Grado en Ciencias de la Actividad Física y deporte
Curso 2018/2019

Autor: Sergio Bellver Rodrigo

Tutor: Enrique Roche Collado

ÍNDICE	Pág.
1. CONTEXTUALIZACIÓN	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	12
4. CONCLUSIÓN	15
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16



1. CONTEXTUALIZACIÓN

La nutrición juega un papel importante en tres aspectos del entrenamiento de la fuerza: combustible para cubrir el gasto, recuperación post-entrenamiento (reposición de glucógeno y reparación de estructuras dañadas) y adaptaciones, incluida la hipertrofia del músculo esquelético.

Los atletas buscan optimizar las respuestas adaptativas a sus entrenamientos maximizando su NPB (balance de nitrógeno proteico), es decir, que haya una alta síntesis de proteínas musculares frente a una menor degradación de éstas. Esto se logra a través de un consumo de proteínas después del ejercicio para estimular la síntesis proteica muscular (MPS) (Moore, Phillips, Babraj, Smith, y Rennie, 2005; Moore, Tang, Burd, Rerecich, Tarnopolsky y Phillips, 2009b) y reducir los índices de daño muscular causado por el "stress" al que se somete el músculo durante la ejecución de la actividad (Rowlands, Thorp, Rossler, Graham y Rockell, 2007; Rowlands et al., 2008). Los atletas que participan en ejercicios de musculación, sin duda encuentran beneficios en períodos repetidos de balance positivo de proteínas, que se traduce en una acumulación de proteínas musculares y la posterior hipertrofia. Si la provisión de proteínas es próxima temporalmente al ejercicio, se promoverá una mejor adaptación (es decir, una mayor ganancia de masa muscular). Esto sirve de base para un marco en el que se pueda pautar una ingesta óptima de proteínas para los atletas.

Las ingestas dietéticas de referencia (DRI) de EE.UU. especifican una ingesta diaria de proteínas en la dieta de 0,8 g por kg de peso (Instituto de Medicina, 2005), siendo adecuado para satisfacer las necesidades de estos nutrientes para prácticamente todas las personas sanas. Sin embargo, esta cantidad de proteína es considerada por muchos atletas como la cantidad que se consumiría en una comida única, especialmente para aquellos que entrenan fuerza, por lo que se puede deducir que los valores de la RDA para las proteínas no consideran estas circunstancias particulares de este tipo de deportes. En estas disciplinas, es necesario un consumo de proteína "extra" por encima de los niveles de ingesta de una población sana de referencia, que no realice este tipo de actividades. El objetivo de este consumo extra es cubrir el aumento de las necesidades debido a la actividad física.

Los estudios sobre los requerimientos de proteínas en atletas han demostrado un aumento de las necesidades de proteína de aquellos que entrenan fuerza, ya que necesitan sintetizar músculo nuevo o reparar el daño muscular ocasionado durante la ejecución de las acciones (Lemon, Tarnopolsky, MacDougall y Atkinson, 1992; Tarnopolsky, Atkinson, MacDougall, Chesley, Phillips y Schwarcz, 1992; Tarnopolsky, MacDougall y Atkinson, 1988). El consumo de una dieta de proteínas "baja" (0,86 g por kg de peso) por un grupo de atletas que entrenan fuerza produce una síntesis de proteínas reducida en comparación con las dietas de proteínas medias (1,4 g por kg de peso) y altas (2,4 g por kg de peso) (Tarnopolsky et al., 1992). No obstante, no se observan diferencias en la síntesis de proteínas entre las dietas con alto contenido de proteínas y contenidos medios, pero la oxidación de aminoácidos se eleva en la dieta alta en proteínas. Esto indica que este tipo de dietas proporciona aminoácidos en exceso, que no pueden integrarse en las proteínas que se están sintetizando o recambiando, lo que implica su eliminación o utilización en las rutas gluconeogénicas. La más reciente posición del Colegio Americano de Medicina Deportiva sobre prácticas dietéticas para deportistas recomienda una ingesta de proteínas de 1,2–1,7 g diarios por kg de peso para atletas entrenados (Gerovasili, Stefanidis, Vitzilaios, Karatzanos, Politis, Koroneos, 2009), estimando unas necesidades proteicas del doble de las recomendadas por las DRI (Lemon et al., 1992; Tarnopolsky et al., 1988). Es importante señalar que la calidad de la proteína debe ser del 100%, es decir, debe de aportar todos los aminoácidos esenciales.

No obstante, el simple hecho de contrastar la ingesta diaria de proteínas de un atleta con las pautas no concluye si la ingesta de proteínas se ha optimizado para promover el aumento de masa muscular u optimizar la reparación de los tejidos dañados. Más bien, se deben considerar otros factores dietéticos, incluida la ingesta total de energía (Calloway y Spector, 1954), la distribución diaria de la ingesta de proteínas (especialmente después del entrenamiento), y la fuente de dichas proteínas (Tang y Phillips, 2009).

Respecto al tiempo de consumo, que es quizás uno de los factores más críticos, los atletas tienen la opción de consumir proteínas antes, durante y después del ejercicio. Aunque hay muy poca información disponible sobre los patrones de alimentación de los atletas de fuerza, la literatura disponible sugiere que la mayor parte de la ingesta diaria de proteínas se ingiere en las comidas principales, con poca consideración para la ingesta entre comidas, incluido pre y post-entrenamiento (Burke, Slater, Broad, Haukka, Modulon, Hopkins, 2003). Algunos estudios han demostrado que el consumo de proteínas antes del ejercicio puede mejorar la MPS (Tipton et al., 2001) y otros no han mostrado ningún efecto (Fujita, Dreyer, Drummond, Glynn, Volpi, Rasmussen, 2009; Tipton, Elliott, Cree, Aarsland, Sanford, Wolfe, 2006), así que en este momento la alimentación previa al ejercicio parece poco probable que aumente el MPS (Muscle Protein Synthesis) y las ganancias a largo plazo en la masa muscular. Por otro lado, los aminoácidos presentes en la circulación, provenientes de ingestas previas, durante el ejercicio pueden aumentar el MPS y posiblemente suprimir la MPB (Muscle Protein Breakdown) para mejorar el balance de proteínas durante o después del ejercicio. Sólo un estudio ha examinado el consumo de proteínas durante el entrenamiento con ejercicios de musculación (Beelen et al., 2008). Cuanto más temprano, dentro del periodo post-ejercicio, un atleta consume proteínas, mejores resultados tendrá respecto a la estimulación de MPS y la hipertrofia, es decir mejor para promover la recuperación y el nivel de adaptación, aunque no hay una "ventana de oportunidad anabólica" bien definida (Burd, Tang, Moore, Phillips, 2009; Drummond, Dreyer, Fry, Glynn y Rasmussen, 2009; Koopman, Saris, Wagenmakers, y Van Loon, 2007b; Phillips, Tang, y Moore, 2009).

Mediante el uso del índice PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score), una serie de proteínas se clasifican como "de alta calidad", con una puntuación PDCAAS de 1.0 o muy cerca de 1.0. Como era de esperar, las proteínas de origen animal, como las de la leche (incluyendo las de la caseína y las del suero de leche), las del huevo (especialmente la clara) y las de la mayoría de las carnes y pescados son de alta calidad. La proteína de soja aislada, una vez que se eliminan los componentes no nutricionales, también tiene una puntuación PDCAAS de 1.0. Hay ventajas en el consumo habitual de estas proteínas en términos de adaptación (aumento de la masa muscular).

Dentro de los aminoácidos, la leucina es un BCAA (aminoácido de cadena ramificada) que puede activar proteínas de señalización clave en la ruta de la proteína diana de la rapamicina (mTOR). Esta proteína responde a numerosos estímulos, entre ellos la mencionada leucina, para inducir procesos de biosíntesis proteica entre otros, a través de la activación del inicio de la traducción. En particular, las proteínas del suero de leche, en comparación con las de soja, son ricas en leucina y esto puede explicar parte de su eficacia para estimular MPS y promover la hipertrofia (Phillips et al., 2009). Así, la aparición de leucina en el sistema circulatorio es más rápida después del consumo de proteína de suero, es de velocidad intermedia con consumo de proteína de soja y de velocidad muy lenta con caseína (Tang et al., 2009). Por lo tanto, aunque el contenido de leucina en la caseína es más alto que el de la soja, la digestión más lenta de la caseína disminuye la aparición de leucina circulante y reduce las concentraciones a un nivel insuficiente para activar la MPS. La hidrólisis de la caseína permitiría una digestión y absorción más rápida que la proteína completa y, por lo tanto, una aparición de leucina en sangre más rápida conjuntamente con una aminoacidemia general más rápida, lo que llevaría a un MPS mejorada (Koopman et al., 2009). El mantenimiento de la MPS después de su activación

mediada por la leucina inicial puede depender de la provisión adecuada de los otros aminoácidos esenciales y en particular de los aminoácidos de cadena ramificada, lo que significa que los suplementos de leucina aislada son de poca utilidad como sustrato para la síntesis proteica.

La pérdida neta de aminoácidos es relativamente baja en las fases de ganancia de masa muscular. Por ejemplo, la degradación de proteínas de todo el cuerpo podría ser 280 g al día en un hombre activo de 70 kg con 28–32 kg de tejido muscular esquelético. La síntesis de proteínas en todo el cuerpo también debería ser de unos 280 g al día, si se quiere mantener un NPB=0 (equilibrado). Sin embargo, hay periodos transitorios en los que la descomposición de las proteínas supera a la síntesis y en ese momento hay una pérdida neta de aminoácidos que requieren el consumo de proteína para reemplazar dichas pérdidas. Esas pérdidas son normalmente alrededor de 40–60 g diarios para una persona sedentaria y un peso de 70 a 90 kg. Estos datos indican que el sedentarismo ralentiza el recambio proteico. Sin embargo, esta cifra es más variable en deportistas, dependiendo de la disciplina y del momento de la temporada, entre otros. Dado que la síntesis de proteínas musculares se vuelve refractaria a la aminoacidemia persistente (Bohe, Low, Wolfe y Rennie, 2001), la literatura sugiere que el consumo de 20 g de proteína de alto valor biológico (8-10 g de aminoácidos esenciales) no más de 5 a 6 veces al día puede resultar suficiente para una estimulación máxima de la síntesis de proteínas musculares en personas sedentarias (Moore et al., 2009).

Recientemente, ha habido interés en la coingestión de carbohidratos y aminoácidos esenciales antes y durante los ejercicios de musculación, presumiblemente para aumentar la disponibilidad del sustrato y por lo tanto el rendimiento del ejercicio, promover un entorno hormonal más anabólico (Bird, Tarpenning, y Marino, 2006a, 2006b), estimular la síntesis de proteínas musculares (Tipton et al., 2001) y/o reducir los índices de daño y dolor muscular (Bird et al., 2006b). Respecto a la coingestión después del entrenamiento, la adición de las más pequeñas (20–40 g) o más grandes (90–120 g) cantidades de carbohidratos no concluyen una mejora de MPS o, al menos una supresión de MPB (Glynn et al., 2010; Koopman et al., 2007a). Mientras que la ingesta de proteínas sea suficiente, los carbohidratos hacen poco para aumentar el recambio de proteínas después del ejercicio (Glynn et al., 2010; Koopman et al., 2007b; Sancak, Bar-Peled, Zoncu, Markhard, Nada, y Sabatini, 2010). Sí que es verdad, que desde una perspectiva amplia, los atletas que se recuperan del ejercicio tienen que servir a cuatro "maestros": hidratación, restauración de carbohidratos metabolizados, reparación de proteínas dañadas y proteínas de remodelación; por lo que visto de esta manera, la proteína consumida en forma líquida simultáneamente con los carbohidratos proporcionarían un 'paquete' de nutrientes óptimo para lograr estos objetivos. La leche bovina probablemente representaría un paquete de nutrientes de este tipo cuando se consume como una bebida de recuperación después del ejercicio, ya que se ha demostrado que aumenta la ganancia de masa magra (Phillips et al., 2009); la rehidratación es equivalente o mejor que el agua y las bebidas deportivas isotónicas en términos de restablecer el equilibrio de líquidos (Shirreffs, Watson, y Maughan, 2007; Watson, Love, Maughan, y Shirreffs, 2008); y cuando se consumen después del ejercicio, las versiones de leche con sabor (p. ej. chocolate), que a menudo contienen carbohidratos agregados como azúcar simple, pueden mejorar el rendimiento para sesiones posteriores (Karp, Johnston, Tecklenburg, Mickleborough, Fly, & Stager, 2006) y reducir los índices de daño muscular.

El uso de suplementos entre los deportistas que frecuentan el gimnasio (Morrison, Gizis, & Shorter, 2004; Sheppard, Raichada, Kouri, Stenson-Bar-Maor, & Branch, 2000), los halterófilos (Burke, Gollan, & Read, 1991) y los culturistas (Brill & Keane, 1994) (especialmente estos dos últimos) no son inesperados, dado la gran cantidad de productos dirigidos a este tipo de cliente (Grunewald & Bailey, 1993; Philen, Ortiz, Auerbach, & Falk, 1992). Las proteínas en polvo y los suplementos de aminoácidos específicos, la cafeína y el monohidrato de creatina son utilizados

frecuentemente por los que entrenan fuerza (Brill & Keane, 1994; Goston & Correia, 2010; Morrison, Gizis, & Shorter, 2004; Nieper, 2005; Sheppard et al., 2000), siendo el monohidrato de creatina el único suplemento del que se ha informado que mejora la hipertrofia del músculo esquelético y la capacidad funcional en respuesta al entrenamiento (Hespel & Derave, 2007). Los atletas que entrenan la fuerza suelen buscar información complementaria de fuentes fácilmente accesibles, incluidas revistas, compañeros atletas y entrenadores (Froiland, Koszewski, Hingst, & Kopecky, 2004; Nieper, 2005; Sheppard et al., 2000), y en consecuencia, la inexactitud de la información proporcionada puede variar dejando al atleta vulnerable a protocolos de suplementación inapropiados y/o ineficaces. La presencia de dismorfia muscular, un trastorno caracterizado por la preocupación de tener la sensación de una musculatura inadecuada, común entre los culturistas, también puede influir en las prácticas de suplementación y conducir al uso de esteroides anabolizantes. Por todo ello, el presente TFG se va a centrar en presentar un protocolo de base que pueda ser de utilidad para rutinas de hipertrofia, sin causar daños para la salud de los practicantes y sin la utilización de sustancias dañinas o prohibidas.



2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Burd, N. A., Tang, J.E., Moore, D. R., & Phillips, S. M. (2009). Exercise training and protein metabolism: Influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1692–1701.

La estimulación de MPS inducida por la alimentación es transitoria y no puede explicar la acumulación de proteínas musculares por sí sola. Por lo tanto, la alimentación y el entrenamiento deben utilizarse simultáneamente para manifestar un NPB positivo, que finalmente se traducirá en hipertrofia muscular cuando se realice habitualmente. Los mecanismos celulares que regulan el recambio de proteínas musculares, que incluyen la transcripción de genes, la señalización celular para iniciar la síntesis de proteínas y las enzimas involucradas en varias vías proteolíticas, parecen activarse con el ejercicio y la alimentación. Cuando los estímulos son adecuados, varias moléculas de señalización (por ejemplo, mTOR) responden de manera casi máxima al entrenamiento y los aminoácidos; siendo el resultado un aumento coordinado en MPS.

El entrenamiento estimula la MPS entre un 40% y un 150% por encima de los niveles en reposo (Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, Wolfe RR, 1995; Chesley A, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Smith K, 1992; Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR, 1997; Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR, 1999). El balance neto se vuelve positivo cuando aumenta la provisión de aminoácidos esenciales (EAA) de una fuente exógena (Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D Jr, Wolfe RR, 1999). El aumento inducido por el entrenamiento en el MPS, incluso en ausencia de alimentación, se mantiene hasta 48h (Phillips SM et al., 1997), lo que sugiere que la alimentación en cualquier momento durante esta "ventana de oportunidad anabólica" debe estimular en el músculo mayor respuesta sintética de proteínas en comparación con la alimentación en reposo. Sin embargo, parece que la ingesta temprana es más eficaz ya que puede acortar el tiempo en el que los aminoácidos se incorporan al músculo en un momento en que la señalización celular involucrada en el inicio de la síntesis de proteínas es más sensible (Fujita S et al., 2007; Koopman R, Pennings B, Zorenc AH, van Loon LJ, 2007). Esta noción está parcialmente respaldada por datos que demuestran una atenuación en el aumento inducido por el entrenamiento cuando el consumo de proteínas se retrasa 2 h después del ejercicio en hombres jóvenes (Hartman JW et al., 2007). Cuando se analiza el efecto de la alimentación, existen muchas consideraciones, incluida la fuente de proteínas, la cantidad, el momento de la ingesta después del entrenamiento y la presencia de carbohidratos para estimular la liberación de insulina. El MPS también se ve afectado por el estado de entrenamiento y/o la sobrecarga de entrenamiento (intensidad, volumen, frecuencia) (Coffey VG et al., 2007; MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Chesley A, Atkinson SA, 1992; Moore et al., 2005; Tang JE, Perco JG, Moore DR, Wilkinson SB, Phillips SM, 2008).

La respuesta del MPS al entrenamiento se vuelve más "refinada" con el entrenamiento, de manera que los sustratos disponibles se dirigen preferentemente hacia la síntesis de diferentes fracciones de proteínas en función del estímulo del ejercicio (Kim PL, Staron RS, Phillips SM, 2005; Wilkinson SB et al., 2008). Por ejemplo, en individuos no entrenados, un nuevo estímulo altera la homeostasis, activando todas las proteínas musculares (miofibrilares y mitocondriales). Sin embargo, en individuos entrenados, la respuesta sintética se ajusta mejor al modo específico de entrenamiento, y estimula preferentemente la síntesis de proteínas miofibrilares (Kim PI et al., 2005; Wilkinson SB et al., 2008), aunque la forma de cómo se logra es incierta.

Varios estudios han demostrado que sólo los aminoácidos esenciales parecen necesarios para la estimulación de MPS (Borsheim E, Tipton KD, Wolf SE, Wolfe RR, 2002; Smith K, Reynolds N, Downie S, Patel A, Rennie MJ, 1998; Tipton KD, 1999; Tipton KD, Gurkin BE, Matin S, Wolfe RR, 1999). Se ha sugerido que en reposo, al consumir una cantidad subóptima de EAA (6,7 g), los ancianos pueden beneficiarse de un aumento proporcional del aminoácido de cadena ramificada leucina para provocar una respuesta MPS similar a la de un joven (Katsanos CS, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Aarsland A, Wolfe RR, 2006), aunque si se consume una proteína adecuada, la suplementación con leucina no parece ser necesaria (Koopman R et al., 2006; Koopman R et al., 2008; Paddon-Jones D et al., 2004; Symons TB et al., 2007).

Moore, D. R., Robinson, M. J., Fry, J. L., Tang, J. E., Glover, E. I., Wilkinson, S. B. et al. (2009). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89, 161–168.

La síntesis de proteínas musculares (MPS) es la variable más sensible a una variedad de estímulos anabólicos en individuos sanos (Rennie MJ, Wackerhage H, Spangenburg EE, Booth FW, 2004) y se estimula de una manera dependiente a la dosis de EAA ingeridos en reposo (Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ, 2003; Cuthbertson D, Smith K, Babraj J, 2005).

La síntesis de proteínas musculares está regulada principalmente a nivel de la traducción del ARN mensajero a través de la activación de una variedad de proteínas de señalización intracelular, especialmente mTOR (Kimball SR, Farrell PA, Jefferson LS, 2002). Esta proteína de señalización se asocia con otras proteínas diana específicas como S6K1, rpS6 y eIF2B, importantes en la regulación de la traducción. Se observan pocos cambios en el estado de fosforilación de las proteínas de señalización con la ingesta de proteínas, lo que sugiere que el principal impulsor del anabolismo muscular con la alimentación después del entrenamiento puede ser simplemente la disponibilidad de aminoácidos (Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR, 1997), y el entrenamiento facilitaría el transporte de los aminoácidos al músculo (Biolo G et al., 1997; Biolo G et al., 1995). La albúmina es una importante proteína plasmática derivada del hígado que no se ve afectada por el entrenamiento (Sheffield-Moore M, Paddon-Jones D, Sanford AP, 2005), pero su síntesis es estimulada por una mayor disponibilidad de aminoácidos (De Feo P, Horber FF, Haymond MW, 1992; Caso G, Feiner J, Mileva I, 2007; Thalacker-Mercer AE, Johnson CA, Yarasheski KE, Carnell NS, Campbell WW, 2007). Se ha sugerido que los aminoácidos provenientes de la dieta pueden incorporarse a la proteína albúmina en un esfuerzo por minimizar su oxidación irreversible, siendo un mecanismo para "almacenar" el exceso de aminoácidos de la dieta hasta que sean necesarios durante los períodos de suministro reducido (De Feo et al., 1992), aunque es relativamente menor en comparación con la gran capacidad de almacenamiento del músculo. Existe una respuesta gradual de la síntesis de proteínas musculares hacia una mayor síntesis después de ingesta de 10 g de proteína entera (4.3 g de EAAs) en comparación con 5 g (2.2 g de EAAs). La síntesis de proteínas musculares se estimula aún más con un mayor consumo de proteínas, pero alcanza una meseta después de la ingesta de 20 g de proteína de alta calidad (8.6 g EAA) (Tipton KD et al., 1999), por lo que hay una tasa máxima por la cual los aminoácidos ya no se incorporan en el tejido muscular, produciéndose su oxidación. La dosis de EAAs que estimula al máximo la síntesis de proteínas musculares después del entrenamiento (8.6 g) es muy similar a la descrita en reposo (10 g) (Cuthbertson D et al., 2005). Debido a que la síntesis de proteínas musculares se vuelve refractaria a la aminoacidemia persistente (Bohe J et al., 2001) y el exceso de aminoácidos se pierde por oxidación (Zello GA, Wykes LJ, Ball RO, Pencharz PB, 1995), se especula en repartir la ingesta de dicha cantidad (20 g proteína) en no más de 5 a 6 tomas diarias, para que la síntesis

de proteínas sea aprovechada al máximo. El consumo crónico de proteínas en exceso de esta dosis podría llevar a una disminución de la respuesta sintética de las proteínas.

Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2006b). Liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion during a short-term bout of resistance exercise suppresses myofibrillar protein degradation. *Metabolism*, 55, 570–577.

El entrenamiento estimula cambios inmediatos en el recambio de proteínas musculares, lo que resulta en un aumento tanto en la síntesis de proteínas como en su degradación (Chesley A et al., 1992; Biolo G et al., 1995; Phillips SM et al., 1997). Cualquier desequilibrio entre estos procesos, lleva a cambios en la cantidad neta de las proteínas de un tejido, afectando particularmente al músculo esquelético (Schimke RT, Bradley MO, 1975). Por lo tanto, para que se produzca la acumulación de proteínas, la tasa de síntesis debe exceder la tasa de degradación. La excreción urinaria de 3-metilhistidina (3-MH) se ha utilizado como un índice de la degradación de la proteína miofibrilar (Young VR, Munro HN, 1978; Dohm GL, Williams RT, Kasperek GJ, van Rij AM, 1982; Hickson Jr JF, Hinkelmann K, 1985; Ballard FJ, Tomas FM, 1983), ya que la 3-MH es un aminoácido constituyente de la actina y la miosina, estando el 90% en el músculo (Rooyackers OE, Nair KS, 1997). Los eventos hormonales desempeñan un papel crítico en el control del recambio proteico (Goldberg AL, Tischler M, DeMartino G, Griffin G, 1980; Lundholm K et al., 1981; Crowley M, Matt K, 1996). Las acciones de la insulina y el cortisol han recibido mucha atención, ya que marcan claramente el proceso cíclico del recambio. Sin embargo, la capacidad de alterar el entorno hormonal catabólico y el impacto que tal cambio podría tener en la degradación de proteínas han recibido menos atención. El entrenamiento da como resultado un aumento inmediato de cortisol (Kraemer WJ et al., 1998; Tarpenning KM, Wiswell RA, Hawkins SA, Marcell TJ, 2001; Bird SP, Tarpenning KM, 2004), el cual es el factor principal que estimula la degradación de las proteínas (Goldberg AL, Goodman HM, 1969). Por lo tanto, las elevaciones a largo plazo en el cortisol asociadas con el entrenamiento pueden tener un impacto negativo en las adaptaciones hipertróficas del músculo (Tarpenning KM et al., 2001), pero esto puede controlarse.

El propósito de la presente investigación es examinar la influencia de la ingesta de carbohidratos líquidos (CHO) y aminoácidos esenciales (EAA) durante el entrenamiento y la modificación de la respuesta hormonal inmediata sobre la degradación de la proteína miofibrilar siguiendo la excreción de 3-metilhistidina (3-MH). Los hallazgos principales son que el entrenamiento realizado en conjunto con la ingesta de CHO líquidos afecta significativamente la respuesta hormonal inmediata, lo que resulta en niveles de insulina significativamente elevados y una disminución significativa en la concentración de cortisol durante y después del entrenamiento. Además, la adición de EAA (CHO + EAA) potencia estas respuestas, ya que la ingesta de proteínas (Nagasawa T, Hirano J, Yoshizawa F, Nishizawa N, 1998) y la ingesta de leucina (Nagasawa T, Kido T, Yoshizawa F, Ito Y, Nishizawa N, 2002) reducen rápidamente la liberación de 3-MH. Esta respuesta hormonal alterada se asocia con una degradación de la proteína miofibrilar atenuada (según refleja la excreción de 3-MH). Por lo tanto, al menos en cierta medida, el efecto estimulante del entrenamiento sobre la degradación de la proteína miofibrilar se puede atenuar mediante la administración de CHO + EAA.

Sin embargo, la capacidad de la insulina para inhibir la degradación de la proteína miofibrilar puede ser limitada, ya que varias líneas de investigación indican que lo que ocurre con la degradación, es que ésta no se ve afectada (Goodman MN, del Pilar Gomez M, 1987; Moller-

Loswick AC et al., 1994). La explicación dada es que la insulina disminuye la actividad proteolítica lisosomal, pero no media la vía de la ubiquitina-proteasoma, que es responsable de la mayor parte de la proteólisis miofibrilar (Rock KL et al., 1994). Aunque la insulina puede reducir la degradación de las proteínas de todo el cuerpo, tal efecto no se ha demostrado en la proteína miofibrilar. Informes anteriores indican que la tasa proteolítica miofibrilar está regulada en gran medida por los glucocorticoides (Mitch WE, Goldberg AL, 1996), y la supresión de su actividad inhibe la degradación de las proteínas (Fulks RM, Li JB, Goldberg AL, 1975; Millward DJ et al., 1985]. Además, se ha informado que el exceso de glucocorticoides antagoniza la acción antiproteolítica de la insulina (Louard RJ, Bhushan R, Gelfand RA, Barrett EJ, Sherwin RS, 1994). En consecuencia, los mecanismos de acción de la insulina sobre el crecimiento del músculo siguen sin estar claros.

Fujita, S., Dreyer, H. C., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2009). Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1730–1739.

Un entrenamiento de alta intensidad estimula la síntesis de proteínas musculares en 1 a 4 h después del entrenamiento (Biolo G et al., 1995; Biolo G et al., 1997; Borsheim et al., 2002) que puede permanecer elevada durante 24 a 48 h (Chesley A et al., 1992; MacDougall JD et al., 1995; Phillips SM et al., 1997). La ingesta de EAA y CHO enriquecida en leucina aumenta de forma potente y rápida la síntesis de proteínas musculares en asociación con una activación sustancial de la vía de señalización de mTOR (Fujita S et al., 2007). La síntesis de proteínas musculares se estimula en el período de recuperación después del entrenamiento (Biolo G et al., 1995; Dreyer HC et al., 2006).

La explicación más probable para no aumentar la síntesis de proteínas musculares durante el entrenamiento es que la prioridad de la célula muscular es proporcionar ATP para apoyar la contracción muscular. Por lo tanto, el proceso anabólico y de síntesis de proteínas que consume ATP recibe menos prioridad a favor de estimular los procesos catabólicos que producen ATP, como la glucólisis. La AMPK, un regulador negativo de la señalización de mTOR, aumenta de manera similar inmediatamente durante la recuperación en ambos grupos, por lo que, la alimentación con EAA y CHO antes del entrenamiento no impide su activación. Por lo tanto, realizar un entrenamiento ingiriendo antes EAA y CHO produce un aumento similar en la síntesis de proteínas musculares después del entrenamiento en comparación con cuando el entrenamiento se realiza sin el consumo de estos nutrientes.

Hay una diferencia interesante en la respuesta FSR (la tasa sintética fraccional, es decir, la fracción de proteínas que son sintetizadas por unidad de tiempo) entre los dos grupos. En el grupo de ayuno, la FSR muscular disminuye durante el entrenamiento; sin embargo, el FSR se recupera rápidamente volviendo a sus valores basales y se incrementa significativamente tanto a 1 como a 2 h después del ejercicio. Por otro lado, en el grupo de EAA+CHO, la FSR muscular no disminuye tanto durante el entrenamiento (se produce un equilibrio entre los aminoácidos netos y la tasa de desaparición), lo que indica que la ingesta de nutrientes antes del entrenamiento puede haber evitado la disminución de la FSR. El aumento posterior al entrenamiento en la FSR se retrasa en el grupo EAA+CHO, de modo que la FSR no aumenta hasta 2 h después del entrenamiento. Es posible que la gran activación de la señalización de Akt / mTOR y la síntesis de proteínas musculares por el abundante suministro de EAA+CHO antes del ejercicio pueda haber resultado en un período refractario parcial para la síntesis de proteínas musculares después del ejercicio. En cualquier caso, el aumento de la FSR muscular

durante la recuperación también se relaciona con una tasa elevada de degradación de proteínas musculares en ambos grupos, ya que el balance neto de fenilalanina es negativo durante la recuperación posterior. Esto indica que la ingesta de EAA+CHO antes del entrenamiento no impide la descomposición de las proteínas musculares después de este. El aumento eventual de la FSR en el grupo alimentado con estos nutrientes no aumenta aún más la síntesis de proteínas musculares durante la recuperación post-entrenamiento en comparación con la realización del entrenamiento en el estado de ayuno.

Se concluye que la ingesta de EAA+CHO posterior al entrenamiento parece ser más efectiva que la ingesta previa a éste, para inducir aumentos adicionales en la tasa de síntesis de proteínas del músculo durante la recuperación post-ejercicio.



3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La siguiente propuesta se basa en un protocolo nutricional para completar las rutinas de hipertrofia realizadas por la tarde. En primer lugar, se debe hacer un desayuno completo para comenzar el día, que aporte la energía suficiente para llevar a cabo eficientemente las tareas diarias. Un ejemplo sería la ingesta de huevo revuelto, tostada integral con aceite de oliva y pavo, y una pieza de fruta como la naranja. A mitad de mañana, se puede almorzar un sándwich de atún y una pieza de fruta, como puede ser un plátano, aportando más proteína y carbohidratos.

En la comida de mediodía se continuará con una ingesta rica en carbohidratos y proteínas, teniendo en cuenta un tiempo aproximado de 2 horas para que se haga la digestión. Esto favorecerá la aparición de aminoácidos esenciales en circulación y los hidratos de carbono repondrán los niveles de glucógeno hepático y muscular. Esta situación evitará en parte la degradación de proteínas durante el entrenamiento, limitando la respuesta de la síntesis de proteínas después de éste (Fujita S et al., 2009). Un ejemplo puede ser la ingesta de pasta con tomate y un filete de ternera con una pieza de fruta de postre. La cantidad deberá adaptarse al volumen del entrenamiento a realizar por la tarde o al momento en el que este se realizará. Así, la cantidad será ligeramente mayor si el volumen previsto va a ser muy alto o si el momento del entrenamiento va a ser a última hora de la tarde. Cantidades de ingesta más ligera para volúmenes más bajos o si el entrenamiento se realiza a media tarde.

Hay múltiples métodos de entrenamiento orientados a la hipertrofia según se manipulen ciertas variables. El entrenamiento tiene que estar individualizado. No obstante, a continuación se indican algunas pautas para una rutina de pesas generalizada que sirva como ejemplo para una persona con una complejión intermedia. Así, se van a conseguir mayores ganancias de masa muscular con un entrenamiento que produzca estrés metabólico significativo mientras se mantiene un moderado grado de tensión muscular. Para ello, se va a emplear un método de entrenamiento piramidal con un rango de 6-12 repeticiones por serie con intervalos de descanso de 60 a 90 segundos entre series. Los ejercicios serán variados en múltiples planos y ángulos para asegurar máxima estimulación de todas las fibras musculares y se harán 4 series por ejercicio. Las repeticiones concéntricas se realizarán a una velocidad rápida de 1-3 segundos y las excéntricas ligeramente más lentas de 2-4 segundos. El volumen, la intensidad y la densidad podrán ir variando según se progrese.

Durante el entrenamiento se propone la ingesta de carbohidratos líquidos en forma de bebida isotónica, aunque no estarían tampoco descartados los geles. Se trata de la mejor estrategia para aumentar la masa muscular ya que los carbohidratos serían excelentes sustratos para proporcionar ATP. Además, se atenúa la degradación de la proteína miofibrilar, gracias a una elevación discreta de los niveles de insulina y a una disminución significativa en la concentración de cortisol durante y después del entrenamiento (Bird S.P et al., 2006b). La ingesta de proteínas o no ingerir nada durante los entrenamientos no favorecería la hipertrofia en ninguno de los casos. Por lo tanto, el proceso anabólico y de síntesis de proteínas, que consume ATP recibe menos prioridad a favor de estimular los procesos catabólicos que producen ATP (Fujita S et al., 2009). Para ello se toman carbohidratos de baja osmolaridad y fácil digestión como, por ejemplo, unos 5 gramos de ciclodextrinas en agua cada 2 o 3 series.

Al término del entrenamiento se debe aprovechar la ventana metabólica tomando hidratos y proteínas. Se ha demostrado que la ingesta de proteínas realizada próxima a la sesión de entrenamiento (inmediatamente antes o dentro de una hora post ejercicio) incrementan la síntesis proteica y mejoran los parámetros anabólicos (Fujita S et al., 2007; Koopman R et al., 2007). La adición de carbohidratos al consumo de proteínas ha mostrado que puede incrementar aún más la síntesis proteica, pues la insulina favorece una mayor captación de los

aminoácidos. Las proteínas de mayor calidad, denominadas "rápidas" (suero) parecen ser más beneficiosas para estimular la síntesis de proteínas que las proteínas "lentas" (caseína) (Dangin M, Boirie Y, Guillet C, Beaufrere B, 2002; Dangin et al., 2003). Aunque ambos tipos de proteínas tienen PDCAAS muy similares, las proteínas derivadas del suero poseen un porcentaje más alto en los aminoácidos de cadena ramificada, en particular de leucina. Una estrategia durante la ventana metabólica sería tomar un suplemento de 20 g proteína de suero. Hay que vigilar en el etiquetado que tenga como máximo 8.6 g de aminoácidos esenciales, ya que por encima de esta tasa los aminoácidos ya no se incorporan en el tejido muscular, produciéndose su oxidación (Tipton KD et al., 1999). La leche entera con adición de chocolate (disponible comercialmente como batido) sería otra alternativa para consumir durante la ventana metabólica ya que proporcionará un 'paquete' de nutrientes óptimo para rehidratación y recuperación de electrolitos (Shirreffs et al., 2007; Watson et al., 2008), además de restaurar el glucógeno consumido y reparar el daño muscular, mejorando así la recuperación y el rendimiento para sesiones posteriores (Karp et al., 2006). No obstante, si el entrenamiento se realiza a última hora de la tarde y el desplazamiento permite realizar la cena en casa dentro de la ventana metabólica, esta ingesta puede realizarse dentro de la misma cena, pudiendo combinarse con alguna barrita energética en el mismo gimnasio, con la idea de comenzar la reposición pero sin anular el apetito.

Respecto a la hidratación, las recomendaciones hídricas diarias para personas físicas activas es de 2-3 litros, que pueden aumentar hasta los 4 litros en días muy calurosos (Noakes, 2012). Normalmente, durante la actividad física solo se ingiere el 30-40% de la cantidad de fluidos que se pierden por sudor. Durante el ejercicio es casi imposible consumir suficientes fluidos, y esperar a la sensación de sed para beber agua garantiza que el deportista está incurriendo en un estado de infrahidratación. Por lo tanto, la hidratación debe de continuar tras el entrenamiento, realizando la reposición en pequeños sorbos (Benardot D., 2013). El objetivo de esta reposición de líquidos es consumir el 150% del peso corporal perdido por sudoración. La bebida deberá aportar 1-1.2 g/litro de sodio intentando acompañarla con potasio y magnesio (Urdanpilleta et al., 2013)

En cuanto a la cena, el arroz blanco cocido con una rodaja de salmón proporcionará las proteínas y carbohidratos necesarios para completar el proceso de reposición iniciado durante la ventana metabólica. Además, el alto consumo de oxígeno y la síntesis de cortisol durante el ejercicio físico genera una situación de desequilibrio oxidativo con una producción incrementada de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Urso & Clarkson, 2003). Los antioxidantes, como las vitaminas C y E y los polifenoles presentes también en vegetales, podrían ayudar a mitigar este daño oxidativo, ayudando en la recuperación post-entrenamiento (Davison, Gleson & Phillips, 2007). Estos antioxidantes abundan en alimentos de origen vegetal. Por ello, la cena podrá completarse con una ensalada de lechuga, pepino y brócoli, junto con unas fresas de postre. No obstante, suplementos antioxidantes pueden tomarse al inicio de la temporada de entrenamientos disminuyendo su consumo a medida que pasa el tiempo, con la idea de adaptar las defensas antioxidantes endógenas.

La ingesta propuesta proporciona unas 2500 kcal en las que las raciones de los principales grupos de alimentos están completas. Tan sólo se incrementa ligeramente la ingesta de alimentos proteicos y se disminuye la de lácteos. El resto de grupos de alimentos presentan un número de raciones correcto. Estos cambios hacen que la dieta proporcione unas cantidades adecuadas de hidratos de carbono, pero ligeramente incrementadas en proteínas, lo que da como resultado una dieta hiperproteica. Durante los periodos con menor volumen de entrenamiento o de descanso, se recomienda volver a una dieta equilibrada en todos los macronutrientes.

Finalmente, es difícil determinar el mejor momento del día para entrenar sin tener en cuenta los factores que afectan, como el reloj biológico, el estilo de vida, las hormonas y la

temperatura. No obstante si el entrenamiento se hace por la tarde-noche, hay algo más de mejora en cuanto a masa muscular (2.5 – 3.8%) respecto a entrenar por la mañana (Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Lind, M., & HŠkkinen, K., 2009). Se favorece la hipertrofia con la liberación de la hormona de crecimiento (GH) mientras se duerme, la cual tiene, entre otras funciones, la de estimular la síntesis proteica en el músculo. Durante y tras el entrenamiento se puede producir una destacable cantidad de GH, pero sin duda, el momento estrella y el pico más alto, es durante el sueño nocturno por lo que al entrenar por la tarde-noche se optimizará la ganancia de masa muscular. Esta estrategia se acompañará con un consumo de 1,2-1,7 gramos de proteína de alta calidad por kg de peso corporal (durante la ventana metabólica y la cena) para estimular al máximo la síntesis proteica.



4. CONCLUSIÓN

En conclusión, una nutrición adecuada al entrenamiento es esencial para conseguir el objetivo de la hipertrofia muscular. La ingesta de proteínas de alta calidad de 1,2–1,7 g diarios por kg de peso será suficiente para cubrir el aumento de las necesidades por la actividad física. Las ingestas previas al entrenamiento ricas en proteínas y carbohidratos favorecerán la aparición de aminoácidos esenciales en circulación y los hidratos de carbono repondrán los niveles de glucógeno hepático y muscular. Durante el entrenamiento, el consumo de carbohidratos líquidos contribuirá a aumentar la masa muscular ya que serán excelentes sustratos para proporcionar ATP y atenuar la degradación de la proteína miofibrilar. La ingesta de proteínas o no ingerir nada durante los entrenamientos no favorecerá la hipertrofia en ninguno de los casos. El consumo de proteínas después del ejercicio para estimular la síntesis proteica muscular (MPS) es clave para superar la degradación de éstas, resultando en un NPB positivo. Si la provisión de proteínas es próxima temporalmente al ejercicio, se promoverá una mejor adaptación (es decir, una mayor ganancia de masa muscular). Las proteínas de mayor calidad, denominadas "rápidas" (suero) parecen ser más beneficiosas para estimular la síntesis de proteínas que las proteínas "lentas" (caseína) puesto que poseen un porcentaje más alto en los aminoácidos de cadena ramificada, concretamente de leucina. La ingesta de 20 g de proteína que contenga 8'6 g de aminoácidos esenciales será suficiente, ya que por encima de esta tasa los aminoácidos ya no se incorporan en el tejido muscular, produciéndose su oxidación. La adición de carbohidratos al consumo de proteínas ayudará en la restauración de los carbohidratos metabolizados, y además, puede incrementar aún más la síntesis proteica, pues la insulina favorece una mayor captación de los aminoácidos. La hidratación debe de continuar tras el entrenamiento aportando 1-1.2 g/litro de sodio e intentando acompañarla con potasio y magnesio. Los antioxidantes, como las vitaminas C y E y los polifenoles presentes también en vegetales, ayudarán a disminuir el daño oxidativo causado por el ejercicio. La liberación de la hormona de crecimiento (GH) mientras se duerme estimulará la síntesis proteica en el músculo, por lo que entrenar por la tarde-noche optimizará la ganancia de masa muscular.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Ballard FJ, Tomas FM, (1983). 3-methylhistidine as a measure of skeletal muscle protein breakdown: the case for its continued use. *Clin Sci* 65: 209- 15.
- 2- Beelen, M., Tieland, M., Gijsen, A. P., Vandereydt, H., Kies, A. K., Kuipers, H. et al. (2008). Coingestion of carbohydrate and protein hydrolysate stimulates muscle protein synthesis during exercise in young men, with no further increase during subsequent overnight recovery. *Journal of Nutrition*, 138, 2198– 2204.
- 3- Benardot, D. (2013). *Nutrición deportiva avanzada* (Segunda edición, ampliada y actualizada).
- 4- Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, Wolfe RR, (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 268: E51
- 5- Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 273: E122–9.4–E520.
- 6- Bird SP, Tarpenning KM (2004). Influence of circadian time structure on acute hormonal responses to a single bout of heavy resistance exercise in weight-trained men. *Chronobiol Int* 21: 127 - 42.
- 7- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2006a). Effects of liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion on acute hormonal response during a single bout of resistance exercise in untrained men. *Nutrition*, 22, 367–375.
- 8- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2006b). Liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion during a short-term bout of resistance exercise suppresses myofibrillar protein degradation. *Metabolism*, 55, 570–577.
- 9- Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ (2003). Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *J Physiol* 552: 315–24.
- 10- Bohe, J., Low, J. F., Wolfe, R. R., & Rennie, M. J. (2001). Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids. *Journal of Physiology*, 532 (Pt 2), 575–579.
- 11- Borsheim E, Tipton KD, Wolf SE, Wolfe RR, (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283: E648–E657.
- 12- Brill, J. B., & Keane, M. W. (1994). Supplementation patterns of competitive male and female bodybuilders. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 398–412.
- 13- Burd, N. A., Tang, J.E., Moore, D. R., & Phillips, S. M. (2009). Exercise training and protein metabolism: Influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1692–1701.
- 14- Burke, L. M., Gollan, R. A., & Read, R. S. (1991). Dietary intakes and food use of groups of elite Australian male athletes. *International Journal of Sport Nutrition*, 1, 378–394.
- 15- Burke, L. M., Slater, G., Broad, E. M., Haukka, J., Modulon, S., & Hopkins, W. G. (2003). Eating patterns and meal frequency of elite Australian athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13, 521–538.
- 16- Calloway, D. H., & Spector, H. (1954). Nitrogen balance as related to caloric and protein intake in active young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2, 405–412.

- 17- Caso G, Feiner J, Mileva I, (2007). Response of albumin synthesis to oral nutrients in young and elderly subjects. *Am J Clin Nutr* 85: 446–51.
- 18- Chesley A, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Smith K, (1992). Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol* 73: 1383–1388.
- 19- Coffey VG, Reeder DW, Lancaster GI, Yeo WK, Febbraio MA, Yaspelkis BB 3rd, Hawley JA (2007). Effect of high-frequency resistance exercise on adaptive responses in skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc* 39: 2135–2144.
- 20- Crowley M, Matt K, (1996). Hormonal regulation of skeletal muscle hypertrophy in rats: the testosterone to cortisol ratio. *Eur J Appl Physiol* 73: 66 - 72.
- 21- Cuthbertson D, Smith K, Babraj J. (2005) Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *FASEB J* 19: 422–4.
- 22- Dangin M, Boirie Y, Guillet C, Beaufrere B (2002). Influence of the protein digestion rate on protein turnover in young and elderly subjects. *J Nutr* 132: 3228S–3233S.
- 23- Dangin M, Guillet C, Garcia-Rodenas C, Gachon P, Bouteloup-Demange C, Reiffers-Magnani K, Fauquant J, Balleve O, Beaufrere B (2003). The rate of protein digestion affects protein gain differently during aging in humans. *J Physiol* 549: 635–644.
- 24- Davison G, Gleeson M, Phillips (2007). Antioxidant supplementation and immunoendocrine responses to prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc. Apr; 39: 645-52.*
- 25- De Feo P, Horber FF, Haymond MW (1992). Meal stimulation of albumin synthesis: a significant contributor to whole body protein synthesis in humans. *Am J Physiol* 263: E794–9.
- 26- Dohm GL, Williams RT, Kasperek GJ, van Rij AM (1982). Increased excretion of urea and N tau -methylhistidine by rats and humans after a bout of exercise. *J Appl Physiol* 52: 27 - 33.
- 27- Dreyer HC, Fujita S, Cadenas JG, Chinkes DL, Volpi E, Rasmussen BB, (2006). Resistance exercise increases AMPK activity and reduces 4E-BP1 phosphorylation and protein synthesis in human skeletal muscle. *J Physiol* 576: 613–624.
- 28- Drummond, M. J., Dreyer, H. C., Fry, C. S., Glynn, E. L., & Rasmussen, B. B. (2009). Nutritional and contractile regulation of human skeletal muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1374– 1384.
- 29- Froiland, K., Koszewski, W., Hingst, J., & Kopecky, L. (2004). Nutritional supplement use among college athletes and their sources of information. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14, 104–120.
- 30- Fujita S, Dreyer HC, Drummond MJ, Glynn EL, Cadenas JG, Yoshizawa F, Volpi E, Rasmussen BB (2007). Nutrient signalling in the regulation of human muscle protein synthesis. *J Physiol* 582: 813–823.
- 31- Fujita, S., Dreyer, H. C., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2009). Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1730–1739.
- 32- Fulks RM, Li JB, Goldberg AL, (1975). Effects of insulin, glucose, and amino acids on protein turnover in rat diaphragm. *J Biol Chem* 250: 290- 8.
- 33- Gerovasili, V., Stefanidis, K., Vitzilaios, K., Karatzanos, E., Politis, P., Koroneos, A. et al. (2009). Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: A randomized study. *Critical Care*, 13, R161.
- 34- Glynn, E. L., Fry, C. S., Drummond, M. J., Dreyer, H. C., Dhanani, S., Volpi, E. et al. (2010). Muscle protein breakdown has a minor role in the protein anabolic response to essential

amino acid and carbohydrate intake following resistance exercise. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative, and Comparative Physiology*, 299, R533–R540.

35- Goldberg AL, Goodman HM, (1969). Relationship between cortisone and muscle work in determining muscle size. *J Physiol* 200: 667 - 75.

36- Goldberg AL, Tischler M, DeMartino G, Griffin G, (1980). Hormonal regulation of protein degradation and synthesis in skeletal muscle. *Fed Proc* 39: 31 - 6.

37- Goodman MN, del Pilar Gomez M, (1987). Decreased myofibrillar proteolysis after refeeding requires dietary protein or amino acids. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 253: E52-8.

38- Goston, J. L., & Correia, M. I. (2010). Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors. *Nutrition*, 26, 604–611.

39- Grunewald, K. K., & Bailey, R. S. (1993). Commercially marketed supplements for bodybuilding athletes. *Sports Medicine*, 15, 90–103.

40- Hartman JW, Tang JE, Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Lawrence RL, Fullerton AV, Phillips SM, (2007). Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am J Clin Nutr* 86: 373–381.

41- Hespel, P., & Derave, W. (2007). Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Sub-cellular Biochemistry*, 46, 245–259.

42- Hickson Jr JF, Hinkelman K, (1985). Exercise and protein intake effects on urinary 3-methylhistidine excretion. *Am J Clin Nutr* 41: 246- 53.

43- Institute of Medicine (2005). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. *Washington, DC: National Academies Press*.

44- Karp, J. R., Johnston, J. D., Tecklenburg, S., Mickleborough, T. D., Fly, A. D., & Stager, J. M. (2006). Chocolate milk as a post-exercise recovery aid. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*, 16, 78–91.

45- Katsanos CS, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Aarsland A, Wolfe RR, (2006). A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E381–E387.

46- Kim PL, Staron RS, Phillips SM (2005). Fasted-state skeletal muscle protein synthesis after resistance exercise is altered with training. *J Physiol* 568: 283–290.

47- Kimball SR, Farrell PA, Jefferson LS (2002). Invited review: role of insulin in translational control of protein synthesis in skeletal muscle by amino acids or exercise. *J Appl Physiol* 93: 1168–80.

47- Koopman, R., Beelen, M., Stellingwerff, T., Pennings, B., Saris, W. H., Kies, A. K. et al. (2007a). Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 293, E833–E842.

48- Koopman, R., Crombach, N., Gijsen, A. P., Walrand, S., Fauquant, J., Kies, A. K. et al. (2009). Ingestion of a protein hydrolysate is accompanied by an accelerated in vivo digestion and absorption rate when compared with its intact protein. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90, 106–115.

49- Koopman R, Pennings B, Zorenc AH, van Loon LJ, (2007). Protein ingestion further augments S6K1 phosphorylation in skeletal muscle following resistance type exercise in males. *J Nutr* 137: 1880–1886.

- 50- Koopman, R., Saris, W. H., Wagenmakers, A. J., & van Loon, L. J. (2007b). Nutritional interventions to promote post-exercise muscle protein synthesis. *Sports Medicine*, 37, 895–906.
- 51- Koopman R, Verdijk LB, Beelen M, Gorselink M, Kruseman AN, Wagenmakers AJ, Kuipers H, van Loon LJ, (2008). Co-ingestion of leucine with protein does not further augment post-exercise muscle protein synthesis rates in elderly men. *Br J Nutr* 99: 571–580.
- 52- Koopman R, Verdijk L, Manders RJ, Gijsen AP, Gorselink M, Pijpers E, Wagenmakers AJ, van Loon LJ, (2006). Co-ingestion of protein and leucine stimulates muscle protein synthesis rates to the same extent in young and elderly lean men. *Am J Clin Nutr* 84: 623–632.
- 53- Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Fry AC, Gordon SE, (1998). The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol* 78: 69- 76.
- 54- Lemon, P. W., Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., & Atkinson, S. A. (1992). Protein requirements and muscle mass/ strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*, 73, 767–775.
- 55- Louard RJ, Bhushan R, Gelfand RA, Barrett EJ, Sherwin RS, (1994). Glucocorticoids antagonize insulin's antiproteolytic action on skeletal muscle in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 79: 278- 84.
- 56- Lundholm K, Edstrom S, Ekman L, Karlberg I, Walker P, Schersten T, (1981). Protein degradation in human skeletal muscle tissue: the effect of insulin, leucine, amino acids and ions. *Clin Sci (Lond)* 60: 319- 26.
- 57- MacDougall JD, Gibala MJ, Tarnopolsky MA, MacDonald JR, Interisano SA, Yarasheski KE, (1995). The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol* 20: 480–486.
- 58- MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Chesley A, Atkinson SA, (1992). Changes in muscle protein synthesis following heavy resistance exercise in humans: a pilot study. *Acta Physiol Scand* 146: 403–404.
- 59- Millward DJ, Bates PC, Brown JG, Cox M, Giugliano R, Jepson M, (1985). Role of thyroid, insulin, and corticosteroid hormones in the physiological regulation of proteolysis in muscle. *Prog Clin Biol Res* 180: 531 - 42.
- 60- Mitch WE, Goldberg AL, (1996). Mechanism of muscle wasting: the role of the ubiquitin-proteasome pathway. *N Engl J Med* 335: 1897- 905.
- 61- Moller-Loswick AC, Zachrisson H, Hyltander A, Korner U, Matthews DE, Lundholm K, (1994). Insulin selectively attenuates breakdown of nonmyofibrillar proteins in peripheral tissue of normal men. *Am J Physiol* 266: E645-52.
- 62- Moore, D. R., Phillips, S. M., Babraj, J. A., Smith, K., & Rennie, M. J. (2005). Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 288, E1153–E1159.
- 63- Moore, D. R., Robinson, M. J., Fry, J. L., Tang, J. E., Glover, E. I., Wilkinson, S. B. et al. (2009). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89, 161–168.
- 64- Moore, D. R., Tang, J. E., Burd, N. A., Rerечich, T., Tarnopolsky, M. A., & Phillips, S. M. (2009b). Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise. *Journal of Physiology*, 597, 897–904.

- 65- Morrison, L. J., Gizis, F., & Shorter, B. (2004). Prevalent use of dietary supplements among people who exercise at a commercial gym. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14, 481–492.
- 66- Nagasawa T, Hirano J, Yoshizawa F, Nishizawa N, (1998). Myofibrillar protein catabolism is rapidly suppressed following protein feeding. *Biosci Biotechnol Biochem* 62: 1932- 7.
- 67- Nagasawa T, Kido T, Yoshizawa F, Ito Y, Nishizawa N, (2002). Rapid suppression of protein degradation in skeletal muscle after oral feeding of leucine in rats. *J Nutr Biochem* 3: 121- 7.
- 68- Nieper, A. (2005). Nutritional supplement practices in UK junior national track and field athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 645–649.
- 69- Noakes, T. D. (2012). Commentary: role of hydration in health and exercise. *British Medical Journal*, 18, 345
- 70- Paddon-Jones D, Sheffield-Moore M, Zhang XJ, Volpi E, Wolf SE, Aarsland A, Ferrando AA, Wolfe RR, (2004). Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 286: E321–E328.
- 71- Philen, R. M., Ortiz, D. I., Auerbach, S. B., & Falk, H. (1992). Survey of advertising for nutritional supplements in health and bodybuilding magazines. *Journal of the American Medical Association*, 268, 1008–1011.
- 72- Phillips, S. M., Tang, J. E., & Moore, D. R. (2009). The role of milk- and soy-based protein in support of muscle protein synthesis and muscle protein accretion in young and elderly persons. *Journal of the American College of Nutrition*, 28, 343– 354.
- 73- Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 273: E99–E107.
- 74- Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR, (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 276: E118–E124.
- 75- Rennie MJ, Wackerhage H, Spangenburg EE, Booth FW (2004). Control of the size of the human muscle mass. *Annu Rev Physiol* 66: 799–828.
- 76- Rock KL, Gramm C, Rothstein L, Clark K, Stein R, Dick L, (1994). Inhibitors of the proteasome block the degradation of most cell proteins and the generation of peptides presented on MHC class I molecules. *Cell* 78: 761 - 771.
- 77- Rowlands, D. S., Rossler, K., Thorp, R. M., Graham, D. F., Timmons, B. W., Stannard, S. R. et al. (2008). Effect of dietary protein content during recovery from high-intensity cycling on subsequent performance and markers of stress, inflammation, and muscle damage in well-trained men. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 33, 39–51.
- 78- Rowlands, D. S., Thorp, R. M., Rossler, K., Graham, D. F., & Rockell, M. J. (2007). Effect of protein-rich feeding on recovery after intense exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, 521–543.
- 79- Rooyackers OE, Nair KS, (1997). Hormonal regulation of human muscle protein metabolism. *Annu Rev Nutr* 17: 457 - 485.
- 80- Sancak, Y., Bar-Peled, L., Zoncu, R., Markhard, A. L., Nada, S., & Sabatini, D. M. (2010). Regulator-Rag complex targets mTORC1 to the lysosomal surface and is necessary for its activation by amino acids. *Cell*, 141, 290–303.
- 81- Schimke RT, Bradley MO, (1975). Properties of protein turnover in animal cells and a

possible role for turnover in quality control of proteins. In: Reich E, Rifkin DB, Shaw E, editors. Proteases and biological control. New York: Cold Springs Harbor Laboratory. p. 515-30.

82- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Lind, M., & Häkkinen, K. (2009). Effect of time-of-day-specific strength training on muscular hypertrophy in men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 2451-2457.

83- Sheffield-Moore M, Paddon-Jones D, Sanford AP, (2005). Mixed muscle and hepatic derived plasma protein metabolism is differentially regulated in older and younger men following resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 288: E922-9.

84- Sheppard, H. L., Raichada, S. M., Kouri, K. M., Stenson-Bar-Maor, L., & Branch, J. D. (2000). Use of creatine and other supplements by members of civilian and military health clubs: A cross-sectional survey. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 10, 245-259.

85- Shirreffs, S. M., Watson, P., & Maughan, R. J. (2007). Milk as an effective post-exercise rehydration drink. *British Journal of Nutrition*, 98, 173-180.

86- Smith K, Reynolds N, Downie S, Patel A, Rennie MJ, (1998). Effects of flooding amino acids on incorporation of labeled amino acids into human muscle protein. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 275: E73-E78.

87- Symons TB, Schutzler SE, Cocke TL, Chinkes DL, Wolfe RR, Paddon-Jones D, (2007). Aging does not impair the anabolic response to a protein-rich meal. *Am J Clin Nutr* 86: 451-456.

88- Tang JE, Perco JG, Moore DR, Wilkinson SB, Phillips SM, (2008). Resistance training alters the response of fed state mixed muscle protein synthesis in young men. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 294: R172-R178.

89- Tang, J. E., & Phillips, S. M. (2009). Maximizing muscle protein anabolism: The role of protein quality. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12, 66-71.

90- Tarnopolsky, M. A., Atkinson, S. A., MacDougall, J. D., Chesley, A., Phillips, S., & Swarcz, H. P. (1992). Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *Journal of Applied Physiology*, 73, 1986-1995.

91- Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., & Atkinson, S. A. (1988). Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *Journal of Applied Physiology*, 64, 187-193.

92- Tarpennig KM, Wiswell RA, Hawkins SA, Marcell TJ, (2001). Influence of weight training exercise and modification of hormonal response on skeletal muscle growth. *J Sci Med Sport* 4: 431 - 46.

93- Thalacker-Mercer AE, Johnson CA, Yarasheski KE, Carnell NS, Campbell WW (2007). Nutrient ingestion, protein intake, and sex, but not age, affect the albumin synthesis rate in humans. *J Nutr* 137: 1734-40.

94- Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D Jr, Wolfe RR (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 276: E628-E634.

95- Tipton KD, Gurkin BE, Matin S, Wolfe RR, (1999). Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem* 10: 89-95.

96- Tipton, K. D., Rasmussen, B. B., Miller, S. L., Wolf, S. E., Owens-Stovall, S. K., Petrini, B. E. et al. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to

resistance exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 281, E197– E206.

97- Urdampilleta A., Martínez-Sanz J.M, Mielgo-Ayuso J. (2013). Necesidades energéticas, hídricas y nutricionales en el deporte. *European Journal of Human Movement*: 30, 37-52

98- Urso ML & Clarkson PM (2003). Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*.

99- Watson, P., Love, T. D., Maughan, R. J., & 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. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 633–642.

100- Wilkinson SB, Phillips SM, Atherton PJ, Patel R, Yarasheski KE, Tarnopolsky MA, Rennie MJ, (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol* 586: 3701–3717.

101- Young VR, Munro HN, (1978). NH methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: an overview. *Fed Proc* 37: 2291- 300.

102- Zello GA, Wykes LJ, Ball RO, Pencharz PB (1995). Recent advances in methods of assessing dietary amino acid requirements for adult humans. *J Nutr* 125: 2907–15.

