

Nutrition & muskeluppbyggnad

INTRODUKTION

Det är sedan länge vedertaget att energi i form av mat har en betydande roll i fysisk prestation. De enskilda näringsämnenas roll är däremot inte lika tydlig och i synnerhet proteinets funktion har debatterats flitigt under åren. Under mitten av 1800-talet var man av åsikten att protein utgjorde den huvudsakliga energikällan i arbetande muskulatur och således konsumerade stora mängder protein av dåtidens atleter. Under slutet av seklet och i början av 1900-talet publicerades dock ett flertal studier som ifrågasatte proteinets energigivande roll i samband med fysisk aktivitet. Studieresultaten antydde att protein endast utgjorde 10 % av muskelns bränsle. Utifrån dessa data ansågs inte fysisk aktivitet öka proteinbehovet. Synen på proteinets minimala roll under fysiskt arbete var så dominerande att den absoluta merparten av studier under 1900-talet fokuserade på fettets och kolhydraternas roll i energimetabolismen.

Det var först under 1970-talet som studier började dyka upp som föreslog att proteinbehovet var högre hos idrottare jämfört med stillasittande. Intressant nog har atleter sedan lång tid tillbaka, oavsett rådande vetenskaplig opinion, konsumerat stora mängder protein och i synnerhet utövare av kraftsporter. Trots omfattande forskning inom området de senaste decennierna råder det fortfarande ingen konsensus kring mängden protein atleter bör konsumera.

Syftet med uppsatsen är att kortfattat presentera existerande data kring atleters proteinbehov samt redogöra för de olika faktorer som påverkar det exogena proteinets roll i fysisk prestation med avseende på muskelmassa. Likaså görs ett försök att redogöra för de molekylära mekanismerna bakom proteinomsättningen i muskelmassa.

PROTEINMETABOLISM

Proteinmetabolismen utgörs av en konstant syntes och nedbrytning av vävnadsproteiner i kroppen. Nettobalansen är beroende av vilken process som dominerar under längst tid. När proteinsyntesen överstiger proteinnedbrytningen infinner sig en positiv nettobalans. En negativ nettobalans infinner sig under motsatta förhållanden, dvs. när proteinsyntesen understiger proteinnedbrytningen.

Byggmaterialet till proteinsyntesen, dvs. aminosyror, fås från maten via dess proteininnehåll men även från endogena aminosyror som frigjorts via proteinnedbrytningen i kroppen. Aminosyror hamnar slutligen i kroppens fria aminosyrapool varifrån de kan tas vid behov. Aminosyror som tas från den fria poolen används huvudsakligen till nysyntes av olika proteiner samt till energiutvinning via oxidering. I samband med att aminosyror oxideras frigörs även kväve som i sin tur främst utsöndras via urinen men även till en viss del via svett.

Det finns idag ett flertal olika metoder för att mäta proteinomsättningen i kroppen. Den mest använda metoden är mätning av kvävebalansen. Kvävebalansstudier ligger till grund för många av dagens proteinrekommendationer i olika länder (Lemon, 2000). Metoden går ut på att både kväveintaget i form av protein, och kväveutsöndring, främst i form av urea, mäts varefter en skillnad beräknas. Kvävebalans råder när intaget av kväve matchar utsöndringen. När kväveintaget överstiger kväveutsöndringen infinner sig ett tillstånd som benämns som positiv kvävebalans. Vid det omvända råder istället negativ kvävebalans.

Generellt mäter man endast kväveutsöndringen i urinen men utsöndring sker även via svett och avföring. Metoden har kritiserats ur flera avseenden; (1) den anses vara tekniskt svår samt tidskrävande att utföra, (2) metoden är väldigt beroende av försökspersonernas medgörlighet samt (3) har en tendens att överskatta kväveretentionen, främst hos idrottare. Det senare anses bero på att det faktum att kväveförluster via svett ofta förbises i kvävebalansstudier. För idrottare som pga. en ansevärd mängd fysisk aktivitet svettas mycket utgör kväveförlusterna via svetten en betydande del.

På senare tid har man använt sig av olika tracermetoder för att studera proteinomsättningen. Tracermetoderna bygger på användningen av olika isotoper vars

metabolism i kroppen kan följas. Till skillnad från kvävebalansmetoden kan tracermetoderna ge insikt i proteinomsättningens olika metabola processer.

PROTEINBEHOV OCH FYSISK AKTIVITET

På senare år har ett flertal studier visat att fysisk aktivitet i olika former har en kraftig inverkan på proteinmetabolismen. Det har bl.a. visats att proteinnedbrytningen i muskel ökar till följd av träning (Kasperek & Snider, 1989). Likaså har det visats att graden av träningsinducerad muskelskada ökar (Evans & Cannon, 1991; Kuipers, 1994) till följd av den mekaniska stressen träning medför. Man har även sett en ökad utförsel av aminosyror alanin (Felig & Wahren, 1971) och glutamin (Ruderman & Berger, 1974) vilket i sin tur tyder på en ökad nedbrytning av de grenade aminosyror (Lemon, 2000). Det senare har bekräftats i en rad studier där man har sett att akut uthållighetsarbete ökar oxidationen av den grenade aminosyran leucin (Phillips *et al.*, 1993; Lamont *et al.*, 1999; McKenzie *et al.*, 2000). Ökningen i den observerade leucinoxidationen verkar vara proportionell mot träningsintensiteten (Lemon *et al.*, 1982) då ansamlingen av ammoniak i blodet stiger linjärt med ökad intensitet (Babij *et al.*, 1983). Eftersom leucin och de övriga grenade aminosyror är essentiella aminosyror som inte kan tillverkas i kroppen, tyder en ökad nedbrytning av dessa aminosyror på ett ökat proteinbehov i samband med fysisk aktivitet.

Ytterligare stöd för ökat proteinbehov hos atleter kommer från ett flertal kvävebalansstudier. Gontezza *et al* (1974) visade bl.a. att kvävebalansen blev negativ under träningsdagar då uthållighetsarbete utförts vid ett intag av $1 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$. Däremot vid ett intag av $1.5 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ förblev försökspersonerna i positiv kvävebalans. Liknande resultat har presenterats av andra (Friedman & Lemon, 1989). Tarnopolsky *et al* (1988) bekräftade resultaten för uthållighetsidrottare men även för styrkeatleter. I den studien såg man att både idrottsformerna medförde ett högre proteinbehov jämfört med inaktiva kontroller. Phillips *et al* (1993) visade at vältränade uthållighetsidrottare hamnade i negativ kvävebalans vid ett intag av $0.8\text{-}0.94 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$. Sammantaget visar en ett flertal studier att uthållighetsidrottare har ett ökat proteinbehov jämfört med icke-idrottande individer. Utifrån ovannämnda studier har proteinbehovet beräknats vara $1.2\text{-}1.6 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ för uthållighetsidrottare (Tarnopolsky *et al.*, 1988; Meredith *et al.*, 1989)

Ett flertal studier har även undersökt huruvida styrkeatleter har ett ökat proteinbehov. Två forskargrupper (Lemon *et al.*, 1992; Tarnopolsky *et al.*, 1992) kom fram till att styrkeatleter har ännu högre proteinbehov än uthållighetsidrottare. I studien av Tarnopolsky *et al* jämfördes proteinsyntesen på helkroppsnivå hos icke-tränande samt styrketränande individer vid tre olika proteinintag; 0.9 , 1.4 samt $2.4 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$. Där såg man att proteinsyntesen ökade hos styrketränningsgruppen först vid ett intag av $1.4 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$. Intressant nog gav $2.4 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ ingen ytterligare ökning hos träningsgruppen. Hos kontrollgruppen förblev proteinsyntesen oförändrad vid alla intagen. I studien av Lemon *et al* (1992) såg man att styrketränande individer förblev i negativ kvävebalans vid ett intag av $0.99 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ och man såg ett starkt linjärt samband mellan proteinintag och kvävestatus. Utifrån ovannämnda studier beräknas proteinbehovet för styrkeatleter till $1.7\text{-}1.8 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ (Lemon *et al.*, 1992; Tarnopolsky *et al.*, 1992).

Det finns idag en ansevärd mängd data som talar för att fysiskt aktiva individer har ett högre proteinbehov än inaktiva individer. Dock är det i dagsläget inte möjligt att ge någon exakt siffra på proteinbehovet. Storleken av det ökade behovet har debatterats flitigt och på senare tid har det dykt upp studier som visar att träning och främst styrketräning, i sig är muskelsparande vilket innebär att ökning av proteinbehovet är mindre än vad man trodde tidigare (Phillips, 2006). Senare studier har bedömt att proteinbehovet hos uthållighetsidrottare är ca $1.1 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$

(Tarnopolsky, 2004) medan proteinbehovet hos styrkeatleter uppgår till ca $1.3 \text{ g protein} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ kroppsvikt} \cdot \text{dag}^{-1}$ (Phillips, 2004).

PROTEINSYNTES

Sedan mitten på 90-talet har antalet studier som undersökt den akuta effekten på muskeluppbyggnaden med hjälp av tracermetoder stadigt ökat i antal. Det har givit oss större förståelse om vad som händer timmar och dagar efter ett träningspass och vilken effekt nutritionen har på muskeln. Även om kunskapen har ökat, saknas mycket data för att kunna få en komplett bild och kunna ge rekommendationer utifrån det.

I vila befinner vi oss i ett katabolt tillstånd, d.v.s. nedbrytningen av muskelmassa är större än syntesen. Stimulerar vi kroppen med ett styrketräningspass leder det till en kraftig ökning av proteinsyntes de efterföljande timmarna jämför med i vila (Chesley *et al.*, 1992; Biolo *et al.*, 1995). Men det är inte bara timmarna efter som träningen stimulerar proteinsyntesen utan stimuleringen fortgår under en längre tid efter passet, upp till 24 (Chesley *et al.*, 1992) och 48 timmar (Phillips *et al.*, 1997) efter ett enskilt styrketräningspass har man uppmätt en förhöjd syntes. Men efter ett styrketräningspass har man även en förhöjd nedbrytning vilket leder till att man fortfarande har negativ nettobalans och man befinner sig i ett katabolt tillstånd (Biolo *et al.*, 1995).

För att kunna erhålla en positiv nettobalans behövs ytterligare stimuli i form av nutrition för att syntesen skall övervinna nedbrytningen. Genom att enbart tillföra aminosyror i vila, stimuleras proteinsyntesen (Biolo *et al.*, 1997; Volpi *et al.*, 1999) mer än nedbrytningen (Volpi *et al.*, 1999). Genom att kombinera aminosyror med styrketräning kan proteinsyntesen stimuleras ytterligare och man får en större positiv nettobalans än i vila (Biolo *et al.*, 1997; Tipton *et al.*, 1999a). När styrketräningen kombineras med ett intag av både aminosyror och glukos får man den allra största nettoeffekten och därmed muskeluppbyggnad (Volpi *et al.*, 2000). Glukos stimulerar frisättningen av insulin vilket har en positiv effekt på regleringen av proteinsyntesen och kombinationen av dessa tre stimuli ger den största effekten på nettobalansen.

TIMING

Betydelsen för när man intar nutritionen har visat sig ha en avgörande roll för hur stort svar man får på proteinsyntesen efter ett styrketräningspass. Efter ett träningspass är muskelns känslighet förhöjd, vilket ger en ökad transport av både aminosyror och glukos in i muskeln som därmed stimulerar proteinsyntesen. Muskelns förhöjda känslighet avtar med tiden och det anabola svaret försämras ju längre man väntar med nutritionen. Om man jämför effekten av att inta aminosyror direkt efter träningspasset med att inta dem 2-3 timmar senare, får man en större anabol stimulering direkt efter (Levenhagen *et al.*, 2001) och det är ingen skillnad mellan att inta aminosyror en eller tre timmar efter (Rasmussen *et al.*, 2000). Detta visar på vikten av att direkt förse den arbetande muskeln med aminosyror för att stimulerar muskeluppbyggnaden. Detta bekräftas av en studie där man jämfört intag av nutrition före och direkt efter träningen. Under ett träningspass har man en negativ nettobalans men om muskeln förses med aminosyror och glukos innan träningen får man en positiv nettobalans. Muskeln får en ökad tillförsel av aminosyror som i sin tur stimulerar proteinsyntesen vilket totalt ger en större stimulering av proteinsyntesen jämfört med att inta samma mängd aminosyror och glukos direkt efter passet (Tipton *et al.*, 2001).

För att ytterligare stimulera proteinsyntesen kan ett upprepat intag av nutrition vara positivt. Genom att inta två drycker med aminosyror och glukos med en timmes mellanrum, stimuleras proteinsyntesen även en andra gång efter den första drycken (Miller *et al.*, 2003). Men att konstant tillföra nutrition verkar inte ha någon ytterligare effekt. Vid kontinuerlig infusion av aminosyror och glukos stimuleras proteinsyntesen positivt enbart under de två första timmarna och återgår till basalnivåer efter sex timmar

även om man har förhöjda nivåer av aminosyror i blodet (Bohe *et al.*, 2001). Muskeln känslighet för stimuli verkar avta med tiden efter den första stimuleringen.

KVALITET

De senare årens forskning har fokuserat på vilka aminosyror som står för stimuleringen av proteinsyntesen och vilka mängder som behövs för maximal stimulering. Man har bland annat jämfört de essentiella aminosyrorna (EAA) med de icke essentiella (NEAA) och man har sett att det är enbart de EAA som ger en stimulering av proteinsyntesen. Att tillföra NEAA till EAA ger ingen ytterligare stimulering (Tipton *et al.*, 1999b; Borsheim *et al.*, 2002). 6 gram EAA stimulerar proteinsyntesen dubbelt så mycket som 3 gram EAA + 3 gram NEAA vilket tydligt visar att NEAA inte har någon funktion i stimuleringen av proteinsyntesen utan det är de EAA som är viktigast (Borsheim *et al.*, 2002).

Vilken dos som är den maximala för att stimulera proteinsyntesen är inte helt klargjort i dagsläget men den verkar ligga mellan 6 och 20g EAA (Tipton *et al.*, 1999b; Borsheim *et al.*, 2002). Av de essentiella aminosyrorna finns det vidare studier som visar att det är de grenade aminosyrorna (BCAA) och då framför allt leucin som reglerar proteinsyntesen (Norton & Layman, 2006).

SAMMANFATTNING

Senare års studier har gett oss en klarare bild av hur muskeluppbyggnaden stimuleras och regleras av styrketräning och nutrition. Mycket forskning kvarstår dock innan fullständiga rekommendationer kan ges. Vad som dock är klart är att de allmänna rekommendationerna som idag uppgår till 0.8 g protein • kg⁻¹ kroppsvikt • dag⁻¹ i de flesta länder (Lemon, 2000) inte räcker till för fysiskt aktiva individer. Atletens ökade proteinbehov kan dock enkelt tillgodoses via ökat matintag varvid supplementering ur den aspekten inte är nödvändig.

Vidare vet man att tillgängligheten och tillförseln av aminosyror runt träningen är avgörande för maximal stimulering av proteinsyntesen. Muskeln behöver tillgång till essentiella aminosyror när träningen påbörjas för maximal stimulering av proteinsyntesen. Huruvida aminosyrorna behöver tas i form av en dryck i kosttillskottsform eller kan intas i form av vanlig mat för att tillräckligt fort kunna förse muskeln med EAA är inte utrett.

REFERENSER

- Babij P, Matthews SM & Rennie MJ. (1983). Changes in blood ammonia, lactate and amino acids in relation to workload during bicycle ergometer exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **50**, 405-411.
- 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* **268**, E514-520.
- 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**, E122-129.
- Bohe J, Low JF, Wolfe RR & Rennie MJ. (2001). Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids. *J Physiol* **532**, 575-579.
- 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**, E648-657.

- 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.
- Evans WJ & Cannon JG. (1991). The metabolic effects of exercise-induced muscle damage. *Exerc Sport Sci Rev* **19**, 99-125.
- Felig P & Wahren J. (1971). Amino acid metabolism in exercising man. *J Clin Invest* **50**, 2703-2714.
- Friedman JE & Lemon PW. (1989). Effect of chronic endurance exercise on retention of dietary protein. *Int J Sports Med* **10**, 118-123.
- Gontzea I, Sutzescu P & Dumitrache S. (1974). The influence of muscular activity on the nitrogen balance and on the need of man on proteins. *Nutrition Reports International* **10**, 35-43.
- Kasperek GJ & Snider RD. (1989). Total and myofibrillar protein degradation in isolated soleus muscles after exercise. *Am J Physiol* **257**, E1-5.
- Kuipers H. (1994). Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* **15**, 132-135.
- Lamont LS, McCullough AJ & Kalhan SC. (1999). Comparison of leucine kinetics in endurance-trained and sedentary humans. *J Appl Physiol* **86**, 320-325.
- Lemon PW, Nagle FJ, Mullin JP & Benevenga NJ. (1982). In vivo leucine oxidation at rest and during two intensities of exercise. *J Appl Physiol* **53**, 947-954.
- Lemon PW, Tarnopolsky MA, MacDougall JD & Atkinson SA. (1992). Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol* **73**, 767-775.
- Lemon PWR. (2000). *Effects of Exercise on Protein Metabolism. In: Nutrition in Sport*. Blackwell Science.
- Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ & Flakoll PJ. (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **280**, E982-993.
- McKenzie S, Phillips SM, Carter SL, Lowther S, Gibala MJ & Tarnopolsky MA. (2000). Endurance exercise training attenuates leucine oxidation and BCOAD activation during exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **278**, E580-587.
- Meredith CN, Zackin MJ, Frontera WR & Evans WJ. (1989). Dietary protein requirements and body protein metabolism in endurance-trained men. *J Appl Physiol* **66**, 2850-2856.
- Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL, Wolf SE & Wolfe RR. (2003). Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* **35**, 449-455.
- Norton LE & Layman DK. (2006). Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *J Nutr* **136**, 533S-537S.
- Phillips SM. (2004). Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition* **20**, 689-695.
- Phillips SM. (2006). Dietary protein for athletes: from requirements to metabolic advantage. *Appl Physiol Nutr Metab* **31**, 647-654.
- Phillips SM, Atkinson SA, Tarnopolsky MA & MacDougall JD. (1993). Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes. *J Appl Physiol* **75**, 2134-2141.

- 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* **273**, E99-107.
- Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE & Wolfe RR. (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol* **88**, 386-392.
- Ruderman NB & Berger M. (1974). The formation of glutamine and alanine in skeletal muscle. *J Biol Chem* **249**, 5500-5506.
- Tarnopolsky M. (2004). Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition* **20**, 662-668.
- Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S & Swarcz HP. (1992). Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* **73**, 1986-1995.
- Tarnopolsky MA, MacDougall JD & Atkinson SA. (1988). Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol* **64**, 187-193.
- Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D, Jr. & Wolfe RR. (1999a). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* **276**, E628-634.
- Tipton KD, Gurkin BE, Matin S & Wolfe RR. (1999b). Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem* **10**, 89-95.
- Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE & Wolfe RR. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **281**, E197-206.
- Volpi E, Mittendorfer B, Rasmussen BB & Wolfe RR. (2000). The response of muscle protein anabolism to combined hyperaminoacidemia and glucose-induced hyperinsulinemia is impaired in the elderly. *J Clin Endocrinol Metab* **85**, 4481-4490.
- Volpi E, Mittendorfer B, Wolf SE & Wolfe RR. (1999). Oral amino acids stimulate muscle protein anabolism in the elderly despite higher first-pass splanchnic extraction. *Am J Physiol* **277**, E513-520.