

Aminosyror ökar träningseffekten

Kostens sammansättning är viktig för prestation och återhämtning. Dess innehåll av protein och essentiella aminosyror kan påverka musklernas anpassning till träning. Ny forskning visar att vissa aminosyror har en viktigare roll än att enbart agera som byggstenar eller energigivande näringsämnen.

KOLHYDRATER OCH FETT är muskelns huvudsakliga bränslen i vila och under träning. Mängden fett och kolhydrater som förbränns beror på intensiteten och hur länge man tränar, hur vältränad personen är och på personens matvanor. Under lågintensiv träning, utgör förbränningen av kolhydrater cirka 50-60 procent av energiomsättningen. Men när intensiteten ökar, ökar också bidraget från kolhydrater gradvis upp till 100 procent vid maxarbete. Ju mer vältränad en individ är desto mer fett förbränns vid en viss given submaximal arbetsbelastning. En kost rik på fett leder till ökad fettförbränning, men när kosten innehåller stora mängder kolhydrater ökar deras relativa bidrag till energiproduktionen (1).

Kroppens förråd av kolhydrater (glykogen) är begränsade. I normala fall lagras ungefär 400 gram kolhydrater i muskler och i levern. Både lever- och muskelglykogen bryts ned under träning och i båda vävnaderna ökar nedbrytningen när intensiteten ökar. Under hårt uthållighetsarbete kan nedbrytningen av muskelglykogen uppgå till 4 gram per minut och leverglykogen drygt 1 gram per minut hos en vältränad idrottare.

Till skillnad från uthållighetsträning är kunskaperna betydligt mindre om i vilken utsträckning fett och kolhydrater förbränns i samband med styrketräning, sannolikt på grund av svårigheten att mäta syreupptag (inklusive respiratorisk kvot som anger de relativa bidragen från olika substrat) under den här typen av trä-

ning. Genom analys av muskelprover har man kunnat konstatera att muskelglykogen används i relativt stor utsträckning framför allt av de snabba muskelfibrerna.

Proteinomsättning under träning

Förbränning av proteiner och dess byggstenar, aminosyror, bidrar också till muskelns energiproduktion. I vila kan deras bidrag vara så högt som 20 procent, men under träning utgör förbränning av protein och aminosyror mindre än fem procent av energiproduktionen under normala fysiologiska betingelser. Omsättningen av protein och aminosyror anses emellertid ha andra viktiga funktioner, till exempel att producera alanin som substrat för glukosproduktion i levern eller att producera glutamin som substrat för immunförsvarets celler (2).

Det är välkänt att uthållighetsträning leder till ökad nybildning (syntes) av mitokondrieprotein och ökad kapillarisering vilket i sin tur leder till att den arbetande muskeln utnyttjar fett i större utsträckning och att uthålligheten därmed förbättras. Även ett enstaka träningspass påverkar proteinomsättningen, men hur är inte helt klart. Mycket tyder på att proteinsyntesen hämmas under själva träningen, för att sedan öka igen efter passets slut till en nivå som är högre än innan träningen började. Huruvida nedbrytningen av protein förändras under själva träningen liksom i viloperioden efteråt är oklart. Svårigheterna att mäta syntes och nedbrytning under själva arbetet bidrar



Marcus Moberg
Doktorand

Gymnastik- och idrottshögskolan



William Apró
Doktorand

Gymnastik- och idrottshögskolan



Eva Blomstrand
Professor

Gymnastik- och idrottshögskolan



Mjölk, kött, fisk, ägg och ost innehåller de essentiella aminosyrorerna i en bra blandning, enligt Livsmedelsverket. Badmintonspelaren Henri Hurskainen firar förra årets EM-silver med ett stort glas. Foto: Karl Nilsson Bildbyrå

med all säkerhet till att kunskaperna är relativt begränsade. Befintliga data tyder på att träningspassets intensitet och längd, näringsintaget under själva träningen samt nivån av muskelglykogen påverkar proteinomsättningen (3).

Intag av protein tillsammans med kolhydrater tycks inte påverka syntesen av muskelprotein under ett cykelarbete, däremot stimuleras den ytterligare efter träningens slut, vilket också är fallet efter snabb promenad. I båda dessa fall är syntesen större än nedbrytningen vilket ger en positiv proteinbalans (4,5). När man intar en protein- och kolhydratblandning tre timmar efter träningen uteblir dock effekten, vilket tyder på att tidpunkten för tillförseln har avgörande betydelse (5).

De tre grenade aminosyrorerna (leucin, isoleucin och valin) som finns rikligt i animaliska proteiner såsom mjölk, ost, kött och fisk, tycks ha en speciellt viktig roll för förmågan att stimulera bildningen av muskelprotein (se även nedan). När frivilliga försökspersoner fick dessa aminosyror under arbete på ergometercykel observerades en minskad frisättning av de aromatiska aminosyrorerna, tyrosin och fenylalanin, i viloperioden efter träning men ingen effekt under själva träningen (3). Det tyder på en mindre nettonedbrytning av muskelprotein efter träningens slut. Eftersom aminosyran leucin har förmågan att stimulera frisättningen av insulin från bukspottkörteln

har det spekulerats i att den anabola effekten förmedlas via insulin snarare än en direkt effekt på muskeln. Det blev dock ingen tydlig förhöjning i insulinnivån i blodet när försökspersonerna fick grenade aminosyror jämfört med placebo, vilket tyder på att leucin har en direkt effekt på muskeln, i enlighet med de fynd som gjorts på försöksdjur i samband med intag av leucin.

Att fylla på energidepåerna

Som en förberedelse inför nästa träningspass är det viktigt att fylla på både musklernas och leverns förråd av glykogen. Snabbt intag av kolhydrater efter träning ökar bildningen av glykogen nästan fyra gånger. Om man däremot väntar två timmar är ökningen bara hälften så stor (6). Förklaringen till den mer uttalade effekten av att äta omedelbart efter träningen beror på att glukosupptaget går snabbare och att man stimulerar det enzym som reglerar återbildningen av glykogen i muskeln. Att inta kolhydrater direkt efter träning är särskilt viktigt om man har fler träningspass eller tävlingar samma dag.

Intag av protein eller av specifika aminosyror i kombination med kolhydrater har i några studier visat sig ytterligare öka glykogeninlagringen, dock inte i alla studier. De olika fynden går till stor del att förklara med att forskarna i vissa undersökningar har tillfört en större mängd energi genom att tillsätta protein, medan de i andra studier har ökat mängden kolhydrater för att energimässigt motsvara det extra proteintillskottet. I de senare studierna elimineras effekten av proteintillförsel. En konsekvens är dock att maximal återbildning kan uppnås även när en del (cirka 20 procent) av kolhydraterna ersätts av protein. Idrottare rekommenderas att äta 70-100 gram kolhydrater (eller alternativt 1,2-1,5 gram per kilogram kroppsvikt) inom de första 30 minuterna efter träning, och ytterligare 150-200 gram under de närmaste två timmarna. Det är ett bekvämt sätt att inta kolhydrater och protein/aminosyror i dryckesform direkt efter träning. Det resulterar också i ett snabbare upptag av glukos och aminosyror än fast föda.

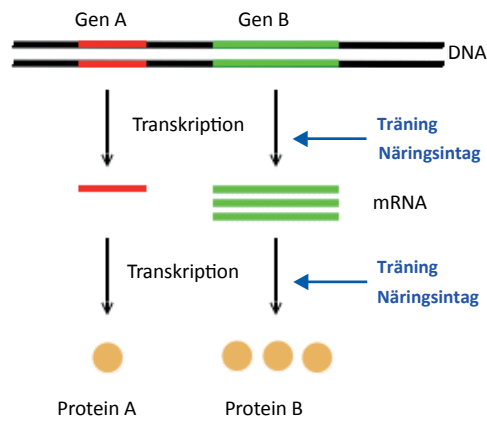
På senare år har det framförts en teori om att träning med låga glykogennivåer i

muskeln skulle kunna stimulera syntesen av mitokondrieprotein ytterligare och därmed öka träningsresponsen. Det skulle i så fall innebära att man inte alltid behöver en snabb påfyllnad av glykogendepåerna. I de få långtidsstudier som finns har försökspersonerna genomfört vartannat träningspass med reducerade glykogennivåer (dock i varierande grad). Resultaten tyder på att denna typ av träning ger en större ökning i mängd/aktivitet av vissa mitokondrieenzym medan effekten på prestationsförmåga är mer oklar.

Stimulering av proteinsyntes

När det gäller styrketräning är syftet i allmänhet att öka muskelstyrkan. I början av träningen beror styrkeökningen på en neuromuskulär anpassning, men därefter sker ökningen i styrka till stor del genom att muskelmassan ökar. Vid denna typ av träning är det huvudsakligen en ökad nybildning av de kontraktila proteinerna som ger en ökning i muskelmassa. Under själva träningspasset tycks proteinsyntesen minska, men efter passet ökar den igen och kan vara förhöjd upp till 48 timmar efter träningen. Även proteinnedbrytningen ökar emellertid i perioden efter träningen, vilket innebär att nettobalansen blir negativ. För att få en positiv nettobalans och därmed en ökning i muskelmassa på sikt, krävs att träningen kombineras med näringsintag i form av protein eller aminosyror. Effekten blir att proteinsyntesen ökar ytterligare och därmed överskrider nedbrytningen (7). Det intressanta med att kombinera träning och protein- eller aminosyraintag är att man får en synergieffekt, det vill säga effekten är större än summan av träning och nutrition var för sig (8).

Proteinsyntesen innefattar de skeenden i muskelcellen där en gen i vårt DNA kodas om till mRNA i transkriptionen, som vidare agerar mall för hur och i vilken ordning olika aminosyror byggs ihop till ett protein i translationen (figur 1). När man talar om proteinsyntes menar man generellt just det sistnämnda translationssteget eftersom det steget är hastighetsbegränsande. Transkriptionen kan ses som det förlopp som avgör vilket protein som bildas. Proteinsyntes kan kvantifieras genom att mäta hur snabbt en isotop-



Figur 1. Schematisk bild av proteinsyntes. Syntesen av protein i muskelcellen består översiktligt av två processer. Transkriptionen där vårt DNA skrivs om till mRNA och translationen där mRNA kodar för sammansättningen av ett protein. Båda dessa processer styr vilka proteiner som bildas samt i vilken mängd. Båda påverkas av träning och näringsintag. Translationen är det hastighetsbegränsande steget och processen styrs via aktivering av den så kallade mTOR-signalvägen.

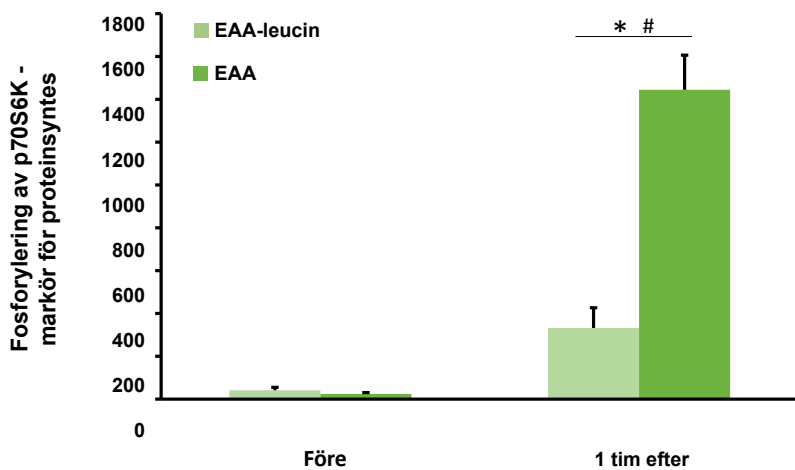
märkt aminosyra byggs in i muskelproteinet. Den stabila isotopen tillförs via infusion varefter man mäter den mängd som inkorporeras i muskelns proteiner under en given tid, vilket ger ett mått på synteshastigheten (FSR – Fractional Synthetic Rate).

Om man inte har tillgång till utrustning för att mäta FSR går det att få ett indirekt mått på synteshastigheten genom att mäta aktiveringen av enzymer som styr translationen. Dessa enzymer ingår i den så kallade mTOR-signalvägen och aktiveras av olika stimuli såsom styrketräning och nutrition. Framför allt ett specifikt enzym, p70S6K, har visat sig korrelera väl med ökning i proteinsyntes efter ett enstaka pass och även med ökningen i muskelmassa över en längre träningsperiod.

Aminosyrornas stora roll

Det är fullt klart att vi behöver inta protein eller aminosyror för att tillgodogöra oss träningen på bästa sätt. Vår forskning är inriktad på att undersöka vilka aminosyror som har denna effekt, samt på att försöka klarlägga de bakomliggande mekanismerna.

Proteiner byggs upp av aminosyror som kan delas in i två grupper, essentiella och icke-essentiella, där den förstnämnda gruppen av nio aminosyror inte kan bildas i kroppen utan måste tillföras via kosten. Forskning under början av 2000-talet visade att tillförsel av de essentiella aminosyrorna har förmågan att stimulera proteinbildningen. Däremot får man ingen ytterligare effekt av de icke-essentiella aminosyrorna. De kan därför ses enbart som byggstenar medan de essentiella amino-



Figur 2. Figuren visar graden av fosforylering av enzymet p70S6K, som är en markör för proteinsyntes, i muskelbiopsier tagna från yttre lårmuskeln (vastus lateralis) före och 1 timme efter styrketräning. Åtta fysiskt aktiva kvinnor deltog i studien. Före och under arbete samt vid upprepade tillfällen efter träningen fick de i randomiserad ordning, antingen en dryck som innehöll alla essentiella aminosyror (EAA, helgröna staplar) eller essentiella aminosyror utan leucin (EAA-Leucin, ljusgröna staplar). *P<0.05 jämfört med före, #P<0.05 jämfört med EAA-Leucin.

syrorna även agerar som signalsubstanser som aktiverar proteinsyntesen i muskeln. För att få en maximal stimulering av syntesen rekommenderas ett intag av 10 gram essentiella aminosyror eller 20 gram protein. Att samtidigt inta kolhydrater ger ingen ytterligare stimulering av proteinsyntesen. Att äta enbart kolhydrater har endast en liten effekt jämfört med aminosyror.

Den speciella aminosyran leucin

Av de essentiella aminosyrorerna finns en mycket speciell subgrupp, de grenade aminosyrorerna leucin, isoleucin och valin, som i motsats till övriga aminosyror huvudsakligen omsätts i muskeln. Särskild uppmärksamhet har leucin fått på grund av dess till synes unika effekter på muskeluppbyggnad. Redan så tidigt som på 1970-talet visade forskare att leucin på egen hand kunde stimulera proteinsyntesen i en isolerad muskel från råttor (9). Vissa av dessa studier antydde även att leucin har en hämmande effekt på proteinnedbrytningen, även om det inte helt gick att fastställa. Vidare har det visats att intag av enbart leucin stimulerar proteinsyntesen hos experimentdjur *in vivo* och att det sker via aktivering av mTOR-signalvägen.

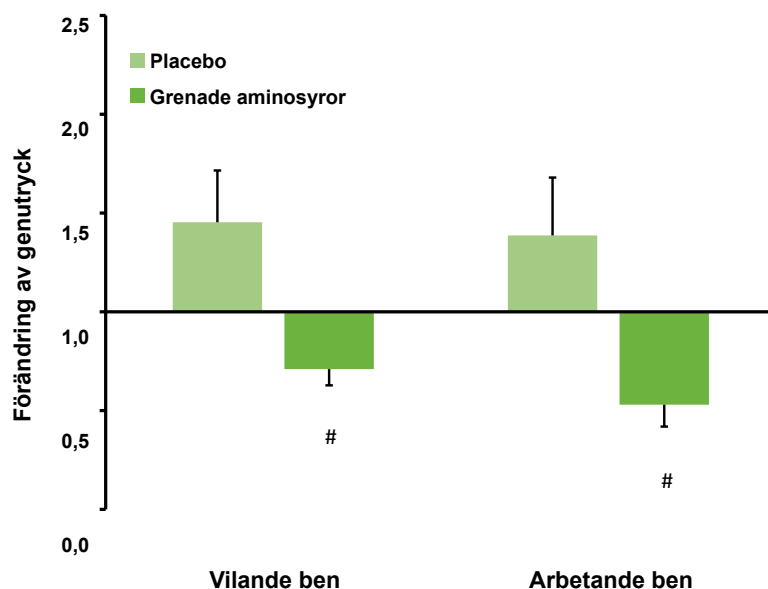
Hos människa har man observerat att intravenös infusion av leucin aktiverar enzymet p70S6K samt skapar en positiv nettobalans i vila (10,11). Därutöver är det

mycket sparsamt med studier som har undersökt leucins specifika roll i regleringen av proteinsyntes hos människa, framför allt vad gäller oralt intag av leucin. Några studier har undersökt vad som sker om man adderar en extra mängd leucin till ett redan fullvärdigt proteintillskott eller som en del av kosten. Slutsatsen man kan dra från dessa studier är att extra tillskott av leucin endast har liten eller ingen ytterligare positiv effekt på proteinnybildning eller på muskeltillväxt (12). Troligtvis beror det på att mängden leucin redan är tillräcklig för att stimulera syntesen maximalt. Det verkar räcka med en så liten mängd som 2-3 gram leucin.

Nya spännande fynd

Vår forskargrupp har under senare år fokuserat på leucins specifika roll i aktiveringen av proteinsyntes i samband med träning. I en nyligen slutförd studie ställde vi frågan vad som sker om man helt utesluter leucin från en aminosyrblandning som idrottaren dricker i samband med träning. Åtta kvinnliga försökspersoner genomförde två styrketräningsspass i benpress med en månads mellanrum. I randomiserad ordning fick de dricka två blandningar av essentiella aminosyror, ena gången med leucin och andra gången utan leucin. När drycken innehöll leucin fick de en fem gånger så kraftig aktivering av enzymet p70S6K jämfört med när leucin saknades i drycken (figur 2). Mängden leucin var 45 milligram per kilogram kroppsvikt, vilket motsvarade ett genomsnittligt intag av 2,7 gram. Den relativt låga aktivering som skedde utan leucin var troligen en effekt av styrketräningen i sig. Resultaten visar på en mycket viktig roll för leucin i aktiveringen av translationssteget i proteinsyntesen (13).

I en senare studie fick sex vältränade unga män utföra ett tungt träningspass i benpress vid fyra olika tillfällen. I randomiserad ordning fick de inta en dryck som innehöll essentiella aminosyror med eller utan leucin, enbart leucin eller placebo. De preliminära resultaten tyder på att leucin enskilt har lika kraftig effekt på proteinsyntesen (FSR) som en komplett mix av essentiella aminosyror.



Figur 3. Figuren visar förändring i genuttryck av MAFbx, som är en markör för muskelprotein-nedbrytning. Styrketräning genomfördes med det ena benet medan det andra benet var vilande och muskelbiopsier togs i båda benen före samt 3 timmar efter träning. En dryck som innehöll grenade aminosyror (helgröna staplar) eller placebo (ljusgröna staplar) intogs före, under och vid upprepade tillfällen efter träningen. Ett värde större än 1 indikerar ett ökat uttryck av genen MAFbx och mindre än 1 en minskat uttryck. #P<0.05 jämfört med placebo.

Däremot tycks essentiella aminosyror utan leucin inte ha någon stimulerande effekt alls utan är likvärdig med placebo (smaksatt vatten). Baserat på dessa resultat skulle man kunna dra slutsatsen att man för att få en maximal stimulering av proteinsyntesen enbart kan konsumera leucin som tillskott. Så enkelt verkar det emellertid inte vara. Studier på experimentdjur visar att infusion av enbart leucin jämfört med leucin plus övriga essentiella aminosyror ger en likvärdig effekt initialt. Efter ett tag avtar dock effekten av enbart leucin, troligen då det uppstår en brist på övriga aminosyror som byggstenar. Mätningen av proteinsyntes i studien på styrketränade män gjordes under 90 minuter efter träning. Det är troligen en tillräckligt kort period för att befintliga aminosyror i muskeln ska räcka för att upprätthålla en förhöjd proteinsyntes. Leucin verkar alltså vara ytterst avgörande för att aktivera proteinsyntesen, men övriga essentiella aminosyror behöver tillföras som byggstenar för att bibehålla en förhöjd syntes.

Forskare har nyligen hittat en tänkbar mekanism bakom leucins stimulerande effekt på proteinsyntesen baserat på resultat från studier på odlade celler. I

dess studier har de identifierat en receptor för leucin i muskelcellen, leucyl-tRNA. När leucin binds till receptorn aktiveras mTOR-signalvägen och därmed syntesen av muskelprotein (14).

Av metodologiska skäl är aminosyror-nas effekt på proteinnedbrytning mindre utforskad än deras effekt på syntesen av protein. I en relativt ny studie kunde vi visa att intag av grenade aminosyror under och efter styrketräning ledde till en minskning i genuttryck av MAFbx, en markör för nedbrytning i muskeln (15). Genuttrycket av denna markör är kraftigt uppreglerad under katabola tillstånd, men dess exakta betydelse för nedbrytningen som sker i samband med styrketräning är i dag okänd. I nämnda studie fick försökspersonerna styrketräna endast med det ena benet. Under och efter träningen fick de antingen en dryck med grenade aminosyror eller placebo och vi fann ett minskat genuttryck i både vilande och arbetande ben (figur 3). Resultaten ger tydliga indikationer på att de grenade aminosyrorna har en potentiellt viktig roll när det gäller att hämma proteinnedbrytning, något som vi kommer att undersöka vidare med nya mätmetoder.

Referenser

1. Åstrand, P.O. mfl. Textbook of Work Physiology. 2003. 4:e upplagan.
2. Newsholme, EA. mfl. Functional biochemistry in health and disease. 2010.
3. Blomstrand, E mfl. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001. 281:365-374.
4. Hulston, C. mfl. Med Sci Sports Exerc. 2011. 43:1635-1642.
5. Levenhagen, D. mfl. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001. 280:E982-E993.
6. Ivy, J. mfl. J Appl Physiol. 1988. 64:1480-1485.
7. Tipton, K.D. mfl. Am J Physiol. 1999. 276:E628-634.
8. Apró, W. mfl. Acta Physiol. 2010. 200:237-248.
9. Buse, M. mfl. J Clin Invest. 1975. 56:1250-1261.
10. Nair, S. mfl. Am J Physiol. 1992. 263:E928-934.
11. Greiwe, J.S. mfl. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001. 281:E466-471.
12. Churchward-Venne, T. mfl. Nutr Metab. 2012. 9:40.
13. Moberg, M. mfl. Med Sci Sports Exerc. 2012. 44 - Issue 5S - s. 267-958 Abstracts.
14. Han, JM. mfl. Cell. 2012. 13:410-424.
15. Borgenvik, M. mfl. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2012. 302:E5105-21.

Kontakt

eva.blomstrand@gih.se

FINANSIELLT STÖD

Forskningsgruppen har fått finansiellt stöd från Centrum för Idrottsforskning, Gymnastik- och idrottshögskolan, Karolinska Institutet och Ajinomoto.