

Rendiment esportiu: glucogen muscular i consum proteic

JOAQUÍN PÉREZ-GUISADO

Departamento de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.

RESUM

Per aconseguir un rendiment esportiu òptim mitjançant el control de paràmetres relacionats directament o indirectament amb la ingesta, pot resultar de gran importància conèixer i saber controlar l'entramat metabòlic relacionat amb el glucogen muscular i l'optimització del consum proteic.

La recuperació de les reserves de glucogen després de la realització de l'exercici físic és un procés lent que pot comportar de 24 a 48 h, segons les pèrdues produïdes. Sent la velocitat de resíntesi del glucogen màxima en les 2 primeres hores després de la realització de l'exercici físic, el procés de resíntesi glucogènica podria ser accelerat mitjançant la ingestió simultània d'hidrats de carboni-proteïna o hidrats de carboni-aminoàcids; podria ser, doncs, una bona opció prendre tot just acabar l'exercici físic una barreja de sacarosa o sucre de taula (1 g/kg) amb sèrum de llet (0,5 g/kg). Mitjançant la supercompensació del glucogen o sobre càrrega d'hidrats de carboni es pretén aconseguir augmentar les reserves de glucogen per sobre dels nivells fisiològics, de tal manera que l'atleta tingui un extra energètic que el pugui ajudar a millorar el seu rendiment esportiu. Aquest guany va acompanyat d'aigua, que fa que augmenti el volum i la vistositat muscular, motiu pel qual és utilitzat sovint pels competidors de culturisme. Hi ha tres tècniques igual d'eficaces: la d'Astrand, la de Sherman/Costill i la Fairchild/Fournier, per bé que la última és més ràpida i fàcil de practicar.

El consum de proteïnes en l'esportista és necessari, però no hauria representar més del 15-20% del consum calòric diari total, ja que quan se sobrepassa aquest lílindar la proteïna perd el seu efecte anabòlic, per la qual cosa, si l'esportista té com a objectiu augmentar la massa muscular, s'hauria d'augmentar l'aportació calòrica total d'una manera equilibrada i no a través únicament de les proteïnes.

PARAULES CLAU: Càrrega d'hidrats de carboni. Índex glucèmic. Massa muscular. Miostatina. Proteïnes. Rendiment esportiu. Reserves de glucogen. Supercompensació glucogènica. Suplementació.

ABSTRACT

To achieve optimal athletic performance by controlling factors directly or indirectly associated with the intake, knowledge of how to control the metabolic processes associated with muscle glycogen and protein intake are highly important. Recovery of glycogen stores after exercise is a slow process, and complete recovery may take 24-48 h after exercise has ceased, depending on how much glycogen has been lost. The maximum rate of glycogen resynthesis occurs in the first 2 hours after the workout. The rate of muscle glycogen resynthesis could be accelerated through simultaneous intake of carbohydrate-proteins or carbohydrate-amino acids, effective combinations after the workout being sucrose or table sugar (1 g/kg) and whey protein (0.5 g/kg). Glycogen supercompensation or carbohydrate loading aims to raise glycogen storage above physiological levels to increase the duration of carbohydrate availability to exercising muscles, thus enhancing performance. The stored glycogen is accompanied by water, which increases muscle volume and definition, and consequently this strategy is frequently used by bodybuilding competitors. There are three supercompensation methods: the Astrand, the Sherman/Costill, and Fairchild/Fournier techniques. Both methods are equally effective but the last option is the quickest and easiest way.

Protein intake is essential for athletes but should account for no more than 15-20% of the daily calorie intake because protein loses its anabolic profile when consumed in quantities higher than this threshold. Thus, athletes aiming to acquire new muscle mass should increase total calorie intake by following a balanced diet and should not aim to increase calories from protein alone.

KEY WORDS: Carbohydrate loading. Glycemic index. Muscle mass. Myostatin. Proteins. Athletic performance. Glycogen stores. Glycogen supercompensation. Supplementation.

IMPORTÀNCIA DE TENIR BONES RESERVES DE GLUCOGEN MUSCULAR

Connexió intensitat d'entrenament-tipus de consum energètic

Un increment en la intensitat de l'exercici portarà associat un increment en la participació dels hidrats de carboni com a combustible energètic^{1,2}. Si la durada de l'exercici continua, caldrà mobilitzar les reserves de glucogen perquè es mantinguin els nivells circulants de glucosa, raó per la qual si aquests no es poden mantenir, la intensitat de l'exercici es reduirà³. Com ja sabem, els greixos participen en els exercicis de tipus aeròbic, però no en els anaeròbics, i aquest és el motiu que en augmentar la intensitat de l'exercici, augmenta la contribució dels hidrats de carboni i no la del greix^{4,5}. De fet, per a una intensitat d'exercici del 50% de $VO_{2m\grave{a}x}$, dos terços de l'energia consumida és en forma de greix, però quan aquesta supera el 75% de $VO_{2m\grave{a}x}$, els hidrats de carboni passen a ser la font principal d'energia, resposta que és semblant tant en homes com en dones⁶. Les proteïnes també contribueixen com a reserva energètica tant en situació de repòs com durant l'exercici, per bé que en persones ben nodrides aquestes probablement representen menys del 5% a la contribució energètica total^{7,8}, malgrat que aquest consum pugui augmentar fins al 12-15% quan l'exercici que es fa és de llarga durada⁹.

Tant l'exercici moderat de llarga durada com l'exercici intermitent d'alta intensitat suposen una pèrdua significativa en els dipòsits de glucogen muscular¹⁰⁻¹², pel fet que el glucogen muscular és una important font energètica en l'execució esportiva^{11,13-15}.

Els dipòsits de glucogen muscular són limitats

Els dipòsits d'hidrats de carboni en l'organisme són escassos si considerem la quantitat total que se'n podria utilitzar durant l'exercici, ja que en exercicis d'intensitat realitzats per esportistes entrenats s'utilitzen a una velocitat de 3-4 g/min, de tal manera que si l'exercici es prolonga, cap al voltant de les 2 h hi haurà una depleció total en els nivells de glucogen. En exercicis anaeròbics d'alta intensitat i curta durada, l'energia és subministrada exclusivament pel fostat de creatina i els hidrats de carboni, de tal manera que com a conseqüència de la glucòlisi anaeròbica hi ha una gran producció del lactat. Com a exemple, es podria dir que un esprint de 30 s de durada és suficient per produir un descens en els nivells de glucogen de fins al 32% del valor inicial¹⁶. En molts esports s'utilitzen els esprints en els entrenaments, per la qual cosa hauríem de tenir en

compte el gran descens en el glucogen muscular que aquests produeixen, motiu pel qual potser és millor fer-los al final en comptes d'incloure'ls al principi de l'entrenament.

Com a conseqüència de l'exercici, no sols és afectat el glucogen muscular, sinó que serà mobilitzada una bona part del glucogen hepàtic¹⁷. Si després de la sessió d'entrenament aquestes reserves energètiques no són prou reposades per a la següent sessió, hi haurà una pèrdua de rendiment esportiu.

La recuperació de les reserves de glucogen després de fer exercici físic és un procés lent que pot comportar de 24 a 48 h, segons les pèrdues produïdes¹⁸. La velocitat de resíntesi d'aquest glucogen dependrà de la quantitat d'hidrats de carboni aportats per la dieta, tenint en compte que uns 500-600 g/dia o fins i tot més (per a atletes més pesants) és la quantitat necessària que garanteix el restabliment de les reserves de glucogen en períodes de gran intensitat d'entrenament¹⁹.

COM AFAVORIR LA RECUPERACIÓ DEL GLUCOGEN PERDUT

Immediatament després de l'exercici es produeix un augment en la sensibilitat del múscul envers la insulina i l'activitat de la glucogen sintasa (enzim responsable en la síntesi del glucogen)²⁰. Aquest estat especial explica que la velocitat de resíntesi del glucogen sigui màxima en les 2 primeres hores després de l'exercici de llarga durada²¹. Si l'esportista necessita recuperar-se ràpidament per a una nova sessió d'entrenament, l'aprofitament d'aquesta "finestra de l'oportunitat" resultaria crucial.

A l'hora d'intentar determinar quina és la forma més efectiva d'afavorir la recuperació dels dipòsits musculars de glucogen després de la realització d'un exercici, cal tenir en compte factors com són els intervals de temps entre la ingestió dels hidrats de carboni^{21,22}, el tipus d'hidrat de carboni²³, la quantitat²⁴ i la freqüència²⁵. Això té una transcendència especial, ja que disposar d'uns bons dipòsits musculars de glucogen pot suposar un retard en l'aparició de la fatiga^{15,26}. Com que hi ha esports en què es fan diverses sessions d'entrenament al dia, afavorir la recuperació del glucogen entre sessions resulta crucial a l'hora de tenir un rendiment òptim²⁷⁻²⁹.

Quantitat d'hidrats de carboni que s'ha d'ingerir

De la mateixa manera que la despesa de les reserves de glucogen depèn de la durada de l'exercici, la seva resíntesi depèn de la quantitat d'hidrats de carboni ingerits, per la qual cosa els nivells màxims es podrien aconseguir amb consums de l'ordre

de 0,5-0,75 g/kg cada hora³⁰, malgrat que seria igual d'efectiu menjar àpats menys freqüents però més abundants, o sigui que donarien uns resultats semblants menjar 1 g/kg cada 2 h o bé 0,25 g/kg cada 30 min²⁵.

Altres autors recomanen 1,5 g/kg de pes i cada 2 h durant 6 h, ja que així s'aconsegueixen nivells més alts de glucogen emmagatzemat a les 6 h d'haver acabat la sessió d'entrenament que quan el consum es retarda 2 h després de la finalització de l'esmentada sessió^{21,24}.

S'ha comprovat que la velocitat més ràpida de resíntesi del glucogen s'assoleix en individus que són alimentats amb quantitats de 0,4 g d'hidrats de carboni per quilogram de pes a intervals de temps cada 15 min durant un total de 4 h³⁰. Aquestes dades podrien ser d'interès en esportistes que s'exerciten diverses vegades al dia o en aquells que malgrat exercitar-se una sola vegada al dia tenen sessions d'entrenament de llarga durada i intensitat (com podria ser una volta ciclista), ja que s'ha demostrat que en aquells esportistes que s'alimenten bé i que tenen un descans després de la sessió d'entrenament de com a mínim 24 h, menjar hidrats de carboni amb la freqüència descrita no suposa un avantatge addicional²⁵.

Tipus d'hidrat de carboni per menjar

Quant al tipus d'hidrat de carboni ingerit, aquest pot tenir influència en la velocitat de síntesi del glucogen; així, s'ha comprovat que la glucosa i la sacarosa són igual d'efectives quan es consumeixen en rangs de l'ordre d'1,5 g/kg de pes cada 2 h, mentre que la fructosa és menys efectiva²³.

Els resultats semblen clars quant al tipus d'hidrat de carboni que cal emprar, ja que els que tenen un alt índex glucèmic, com la glucosa, sacarosa i midons rics en amilopectina, es transformen en glucogen molt més ràpidament que no els hidrats de carboni amb baix índex glucèmic, com la fructosa o midons rics en amilosa^{20,31,32}. Aquesta diferència en l'índex glucèmic entre amilosa-amilopectina ve donada per les diverses configuracions estructurals que presenten i que fan que l'amilopectina sigui atacada amb més facilitat pels enzims digestius.

S'ha comprovat que la glucosa i la sacarosa són igual d'efectives quan es consumeixen en rangs de l'ordre d'1,5 g/kg de pes cada 2 h, mentre que la fructosa és menys efectiva²³.

Si el que es consumeixen són aliments i no suplementes, resulten d'elecció en les primeres 24 h després de la realització de l'exercici els que tenen més alt índex glucèmic³³ i càrrega glucèmica, com podria ser la patata cuita, l'arròs, la pasta, etc. La presència de proteïna i greix en l'aliment ingerit després de la

sessió d'entrenament no influeix negativament en la resíntesi del glucogen, tant en esports de tipus aeròbic³⁴ com anaeròbic³⁵. Si a això hi afegim que la presència de proteïnes aportarà els aminoàcids necessaris que el múscul necessitarà per reparar-se i promoure un perfil anabòlic³⁶, el consum d'aquestes estarà molt indicat.

Efecte sinèrgic de la combinació hidrats de carboni-proteïna

Últimament s'està canviant l'antiga tendència de consumir exclusivament hidrats de carboni després de l'entrenament per una més innovadora que aconsella el consum simultani tant d'hidrats de carboni com de proteïna^{28,37-44}.

Tots sabem que els hidrats de carboni són capaços d'estimular la producció d'insulina, però això no és exclusiu dels hidrats de carboni, ja que tant els aminoàcids com les proteïnes ingerides també tenen la capacitat d'estimular la producció d'insulina⁴⁵. Aquest és el motiu pel qual quan es consumeixen simultàniament amb els hidrats de carboni, alguns aminoàcids són capaços d'exercir un efecte sinèrgic hiperinsulinèmic^{46,47}. La insulina és imprescindible en la formació del glucogen muscular i en la síntesi proteica, motiu pel qual s'havia suggerit que el procés de resíntesi glucogènica podria ser accelerat mitjançant la ingestió simultània d'hidrats de carboni-proteïna o hidrats de carboni-aminoàcids^{38,48}.

Com a conseqüència de l'exercici, els microtraumes musculars sovintegen i el problema que tenen aquests és que poden interferir negativament en l'acció anabòlica de la insulina, tot dificultant la resíntesi del glucogen muscular⁴⁹. Per amortir aquest efecte negatiu, l'aminoàcid leucina podria ser d'interès, ja que s'ha comprovat que és capaç d'estimular el senyal que exerceix la insulina sobre les cèl·lules^{50,51}, a més de poder ser emprat com a font d'energia en la cèl·lula muscular⁵². Per tant, aquest és un altre argument a favor de la combinació de proteïnes o aminoàcids i hidrats de carboni després de fer exercici físic.

Tenint en compte això, sembla que la millor opció seria prendre, tot just havent acabat d'entrenar, un batut amb hidrats de carboni-proteïna, si es compara respecte d'un batut isoenergètic d'hidrats de carboni^{38,53}, ja que la resíntesi de glucogen es podria incrementar fins al 40%. No obstant això, hi ha estudis que afirmen que no hi ha diferències significatives entre la ingestió isoenergètica d'hidrats de carboni-proteïna o només hidrats de carboni^{37,39,40,42}. Aquesta diferència d'opinions, podria venir pel fet que els estudis esmentats es caracteritzen per haver estat fets en situacions de dèficit greu de glucogen, situació que no es produïa en els estudis que demostren

la superioritat de la barreja hidrats de carboni-proteïnes i que, per tant, mereixen més fiabilitat. L'explicació rau en la comprovació que quan hi ha un dèficit greu de glucogen la velocitat de síntesi d'aquest es dispara^{15,54-56}, essent capaç de produir-se fins i tot en absència d'insulina⁵⁷. Les implicacions esportives que puguin tenir aquestes afirmacions dependran molt i molt del grau d'intensitat de l'exercici; o sigui que si es tracta d'exercicis que no superen el llindar anaeròbic VO₂ (a partir del 70-80% VO_{2màx}), hi haurà una utilització energètica fonamentada en el greix i, per tant, la pèrdua de glucogen serà menor. Això ve corroborat per diversos estudis; així, a un 70% de VO_{2màx} no es van detectar diferències significatives quant a rendiment, però sí en la velocitat de síntesi del glucogen⁵³, mentre que a un 85% de VO_{2màx} sí que es va constatar que hi havia diferències significatives de rendiment a favor del grup que va prendre hidrats de carboni-proteïna¹⁵.

Si al que acabem d'indicar hi sumem que fins i tot emprant el mateix nombre de calories, les proteïnes són més efectives que els hidrats de carboni a l'hora d'afavorir els guanys de massa muscular i de força^{58,59}, tant quan s'utilitzen abans com després de l'entrenament⁶⁰, recomanaria la ingestió d'ambdós nutrients en la ingesta que es produeix immediatament després de la sessió esportiva i en un proporció aproximada d'1 g/kg de pes per als hidrats de carboni i de 0,5 g/kg de pes per a la proteïna. Una bona combinació seria barrejar sacarosa o sucre de taula amb una proteïna de ràpida absorció i qualitat biològica com el sèrum de llet.

Moment i freqüència ideal de la ingestió

Quant al moment ideal per ingerir els hidrats de carboni després de l'entrenament, l'ideal és com més aviat millor, amb un consum almenys d'1-2 g/kg de pes (un total que aniria de 50 a 100 g) en la primera hora després de l'entrenament o activitat física, per continuar amb una àpat ric en hidrats de carboni després^{19,21}.

Sobre la freqüència d'ingestió, si és preferible fer àpats més freqüents però de menor quantitat o àpats menys freqüents però amb més quantitat, sembla que ambdues estratègies són igual d'efectives a l'hora d'afavorir la recuperació del glucogen^{25,61}. Tenint-ho en compte, seria lògic recomanar quan l'atleta no va a entrenar ni podrà menjar durant un llarg període de temps, com és el cas del son nocturn, fer una àpat més abundant.

A l'hora de fer ingestions d'hidrats de carboni freqüents i de baix volum, resulta fàcil i alhora agradable utilitzar aliments rics en sucres, com ara dolços, sucs, begudes ensucrades, begu-

des energètiques per a l'esport o fins i tot directament sucre, melmelada o mel⁶².

Càrrega d'hidrats de carboni, supercompensació o sobrecàrrega de glucogen

Mitjançant aquesta càrrega, el que es pretén és aconseguir augmentar les reserves de glucogen per sobre dels nivells normals o fisiològics, per tal que l'atleta tingui un extra energètic que el pugui ajudar a millorar el rendiment esportiu. Està especialment indicada en competicions esportives que tenen una durada d'almenys 1,5-2 h⁶³. Aquest mètode també és utilitzat per culturistes perquè afavoreix un augment del volum muscular, ja que el magatzem de glucogen va acompanyat d'aigua; concretament es considera que cada gram de glucogen emmagatzemat va acompanyat de 3-4 g d'aigua⁶⁴. Si tenim en compte que la capacitat de l'organisme d'emmagatzemar glucogen és de l'ordre de 6-7 g/kg de pes, en un culturista de 100 kg de pes li suposaria un guany de volum muscular de fins a 3,5 kg (700 g de glucogen + 2.800 g d'aigua). Això justificaria la utilització de la supercompensació en els competidors de culturisme, amb l'objectiu d'aconseguir un major volum muscular i vistositat. L'inconvenient principal que aquesta pràctica podria tenir és l'aparició d'una major congestió o pesadesa muscular, la qual podria afavorir en certs atletes l'aparició de contractures, rampes o fins i tot ruptures fibril·lars, raó per la qual recomanaria que es provés molt abans del dia de la competició a fi de comprovar que l'atleta no hi resulta afectat negativament.

Tradicionalment, es coneixen dues tècniques de supercompensació o càrrega d'hidrats de carboni: la d'Astrand i la de Sherman-Costill. Ambdues ofereixen resultats semblants^{63,65-69}, però difereixen quant a la metodologia.

La més innovadora y la última en aparèixer és la càrrega en 24 h o tècnica de Fairchild/Fournier⁷⁰. Recentment també s'ha descobert que la utilització de cafeïna (8 mg/kg) té un efecte additiu en la síntesi de glucogen quan acompanya a la ingestió d'hidrats de carboni⁷¹, però no hi ha estudis que demostrin la seva eficàcia i la seva pauta si s'acompanya de tècniques de supercompensació.

Si bé és necessari començar l'activitat esportiva amb bones concentracions de glucogen muscular, ja que si no fos així s'oposaria als mecanismes genètics implicats en el procés d'hipertrofia muscular⁷², no s'aconsella realitzar freqüentment aquest tipus de tècniques, doncs s'ha comprovat que els mecanismes responsables de la supercompensació del glucogen es van atenuant si es realitzen repetidament en el temps⁷³, per la

qual cosa seria recomanable deixar-les per a dies claus, com els de competició.

Tècnica d'Astrand

S'inicia una setmana abans de l'esdeveniment esportiu i consisteix a entrenar amb intensitat i ingerir una dieta molt baixa en hidrats de carboni (0-10% de la contribució energètica total) durant 3 dies, seguida de 3 dies més en què cal fer una dieta molt alta en hidrats de carboni (80-90%) acompanyada de gens d'entrenament o bé un entrenament molt lleuger. Per tant, el que es fa és una depleció del glucogen muscular gràcies a l'exercici i la dieta baixa en hidrats de carboni, seguida d'una supercompensació⁷⁴⁻⁷⁶. Des d'un punt de vista fisiològic, el que pretén aquest mètode és hiperestimular la glucogen sintasa, ja que l'activitat d'aquesta és més alta com més baixos estan els nivells de glucogen, amb la qual cosa quan aquests augmenten l'enzim es va fent cada vegada més resistent a l'acció de la insulina⁷⁷.

Tècnica de Sherman-Costill

Aquesta tècnica es caracteritza perquè és menys radical que l'anterior i, per tant, més fàcil de dur a terme, malgrat que els resultats de rendiment esportiu que s'obtenen són semblants als d'Astrand. La tècnica es comença, igual que l'anterior, la setmana d'abans de l'esdeveniment esportiu. Consisteix a seguir durant tot el procés una dieta alta en hidrats de carboni, entorn del 60-70% de les calories diàries totals, mentre que les sessions d'entrenament van baixant de durada progressivament; concretament, cada 2 dies es van reduint a la meitat, fins que el dia d'abans de l'esdeveniment no hi hagi entrenament. Té l'avantatge de comportar menys efectes secundaris (derivats de la manca de consum d'hidrats de carboni) i ser menys radical que l'anterior i, per tant, més fàcil de dur a terme, tot i que els resultats de rendiment esportiu que s'obtenen són semblants a la d'Astrand^{63,65-69}.

Tècnica de càrrega en 24 h o de Fairchild/Fournier

És la d'aparició més recent, i com a principals avantatges ofereix la seva rapidesa i la facilitat d'execució, permetent assolir les màximes concentracions de glucogen muscular en només 24 h. L'únic inconvenient és que només s'ha realitzat en ciclistes. El procediment es basa en fer un escalfament d'uns 5 min, seguit d'una sessió d'alta intensitat d'uns 3 min de durada, a fi d'esgotar les reserves de glucogen muscular de les cames. Im-

mediatament després de la sessió esportiva comença la càrrega d'hidrats de carboni, que consistirà en no realitzar cap exercici i prendre en les 24 h següents una mitjana de 10,3 g d'hidrats de carboni d'elevat índex glucèmic (pasta, pa, arròs, patates, begudes amb maltodextrina, etc.) per quilo de pes (12,2 g si és per quilo de massa lliure de greix), per la qual cosa la ingesta calòrica total procedent dels hidrats de carboni representarà més del 90%⁷⁰. Aquesta tècnica es va realitzar en ciclistes, motiu pel qual el més probable és que en esports en els que interressi esgotar diferents grups musculars, seria aconsellable realitzar sessions d'alta intensitat de 3 min de durada (de forma contínua o intermitent, ja sigui en 2 sessions d'1,5 min o 3 sessions d'1 min, segons ho permeti el grup muscular implicat) per grup muscular que es vulgui esgotar. En aquest cas, la quantitat necessària d'hidrats de carboni que s'ha d'ingerir podria ser més gran que la considerada en l'estudi.

MALGRAT QUE LA PROTEÏNA ÉS NECESSÀRIA, UN EXCÉS NO SUPOSA UN AVANTATGE AFEGIT

El consum proteic és necessari

En el període de recuperació després de l'exercici, resulta prioritari per a l'organisme no solament accelerar la recuperació del glucogen perdut, sinó també recuperar la pèrdua intramuscular d'aminoàcids i, per tant, de proteïna que ha tingut lloc, perquè s'ha comprovat que després de l'exercici físic davalla la concentració intramuscular d'aminoàcids⁷⁸, ja que l'exercici és un procés catabòlic a tots els nivells (hidrats de carboni, proteïnes i greixos) que va acompanyat d'una fase anabòlica de recuperació. La ingestió d'aminoàcids o proteïnes immediatament després de l'exercici pot prevenir aquesta pèrdua d'aminoàcids i afavorir la síntesi proteica⁷⁹. Els mecanismes que suggereixen que els atletes han de tenir un major consum proteic són: la necessitat de reparar el dany tissular de les fibres musculars associat a l'exercici, el fet que durant l'exercici es consumeixen proteïnes com a combustible energètic i la necessitat d'augmentar el consum proteic per mantenir els guanys aconseguits en el desenvolupament muscular^{80,81}.

El que importa és un consum energètic suficient i una alimentació equilibrada

Malgrat que els esportistes tenen més requeriments proteics que la població general, la major part dels atletes que tenen una aportació energètica adequada resolen òptimament les seves necessitats proteiques⁸²⁻⁸⁴.

Això ho confirma el fet que augmentar la ingesta proteica per sobre del valor recomanable no afavorirà el creixement muscular^{82,83}. Les recomanacions diàries de proteïna per a la població general, d'uns 0,8 g/kg de pes i dia, no són suficients per mantenir un balanç nitrogenat positiu en esportistes, ja que aquestes són d'uns 1,2 g/kg en esportistes de força⁸⁵ i d'1,2 g/kg⁸⁶ i fins i tot 1,2-1,4^{52,87} o 1,4-1,5⁸⁸ en esportistes de tipus cardiovascular. Altres autors apunten més alt i situen aquest valor en esportistes entorn d'1,35 g/kg⁸³ o fins i tot 1,7-1,8 g/kg⁸². També hi ha autors que afirmen que en els atletes que tenen com a objectiu el desenvolupament muscular i de la força, com són els culturistes i atletes de força, el consum proteic entorn d'1,6-1,7 g/kg de pes i dia és suficient per afavorir l'acumulació i el manteniment de la massa muscular guanyada^{52,81,82,87}.

En els requeriments proteics diaris és molt important conèixer la ingesta calòrica total de l'esportista, ja que quan hi ha un balanç energètic negatiu que no compensa la despesa calòrica diària de l'esportista, les necessitats proteiques esdevenen encara més altes^{52,76}. I altrament, quan la ingesta calòrica és alta, les necessitats proteiques són menors pel fet que el cos treu un rendiment més alt a les proteïnes mitjançant un increment en l'addició de nitrogen muscular⁸⁹.

La majoria dels estudis sobre les ingestes alimentàries en atletes⁹⁰⁻⁹² demostren que els atletes que segueixen una alimentació variada i equilibrada aconseguen uns nivells d'ingesta proteica entorn d'1,5 g/kg, la qual cosa seria suficient per aconseguir aquest balanç nitrogenat positiu sense necessitat d'ingir suplement proteics.

Aquestes necessitats proteiques es podrien augmentar en situacions especialment catabòliques, com són les dietes restrictives hipocalòriques, ja que en aquestes situacions augmenten les necessitats de proteïna i a més l'atleta sol consumir menys proteïna que abans, amb la qual cosa el balanç net resulta negatiu. En aquestes circumstàncies sí que podria resultar útil la suplementació amb proteïna, ja que es produiria un efecte anticatabòlic amb augment en la retenció de nitrogen⁹³.

En la bibliografia científica no hi ha treballs que demostrin que un alt consum de proteïnes pugui exercir un efecte negatiu a llarg termini en persones amb un bon estat de salut. Al contrari, hi ha treballs que demostren la seguretat d'una dieta alta en proteïnes^{94,95}. Si considerem que un dèficit proteic pot ser molt pernicios per al rendiment de l'esportista, si depassa les necessitats diàries recomanades serà menys dolent que si no hi arriba, per això la suplementació amb proteïnes, que és una pràctica freqüent entre els esportistes, si bé la majoria de les vegades no servirà per a res, en alguns atletes que no es nodreixen

bé podria salvar-los dels efectes negatius derivats d'una insuficient ingestió proteica.

Obsessionar-se amb un consum alt de proteïnes no aporta avantatges al rendiment i augmenta la despesa econòmica de l'esportista

L'obsessió per ingerir altes quantitats de proteïnes sol ser típica entre atletes que tenen com a objectiu la força i el guany muscular i que se centren fonamentalment en l'entrenament amb pesos. És cert que l'entrenament amb pesos s'ha comprovat que provoca canvis profunds en la concentració d'aminoàcids i en la síntesi proteica⁹⁶⁻⁹⁸ i que, per tant, influencia decisivament el procés d'hipertrofia⁹⁹. L'entrenament de força o amb pesos s'associa a un increment en la síntesi proteica que es produeix després de la sessió d'entrenament^{97,98,100}. Concretament, s'ha comprovat que una sessió d'entrenament amb pesos en subjectes entrenats provoca en les quatre primeres hores postentrenament un increment ràpid de la síntesi proteica i que aquest es manté passades entre 24-36 h⁹⁶. Hi ha estudis que van més lluny i que demostren que en subjectes no entrenats l'increment en la síntesi proteica es manté significativament incrementat fins a un 34% després de les 48 h posteriors a la sessió d'entrenament⁹⁷. Sembla que el procés d'hipertrofia i d'increment de força ve donat per canvis que es produeixen en l'actina i la miosina muscular i que són resultat final de l'entrenament de força^{101,102}. Com a conseqüència de l'entrenament de força, es produeix un catabolisme muscular que dura fins a passades 3 h de l'entrenament^{96,97,103}. Si bé hi ha estudis que demostren que la concentració d'aminoàcids extracel·lular és l'element primari necessari en l'estimulació de la síntesi proteica^{104,105}, també s'ha comprovat que un cop que el múscul té una disponibilitat suficient en aminoàcids, arriba un moment en què aquests perden la capacitat d'estimular la síntesi proteica¹⁰⁶. El motiu pel qual arriba un moment en què la proteïna perd el seu poder per formar més massa muscular és que hi ha un límit per a l'assimilació de la proteïna i incorporació al teixit muscular⁸⁰, per la qual cosa l'excés consumit s'utilitzarà per a altres fins, com són l'obtenció d'energia i l'acumulació de greix.

S'ha demostrat que la causa principal que limita que una aportació extra de proteïnes pugui ser utilitzada per formar més massa muscular, està connectada amb una major producció de miostatina. La miostatina (GDF8) és un factor inhibidor del creixement muscular que és produït per les mateixes cèl·lules del múscul esquelètic, circula en sang i actua en el teixit muscular limitant-ne el creixement. S'ha comprovat en rates que

quan aquestes són alimentades amb dietes que tenen més d'un 15% de proteïnes, ja no es produeix un augment significatiu en el guany de massa muscular perquè aquest consum excessiu de proteïnes estimula una major producció de miostatina, que bloquejarà el procés d'hipertrofia muscular¹⁰⁷. Tenint en compte aquestes dades, el consum de proteïnes en l'esportista no hauria de representar més del 15-20% del consum calòric diari total, de tal manera que si l'esportista té com a objectiu augmentar la massa muscular, hauria d'augmentar l'aportació calòrica total d'una manera equilibrada i no amb la procedent únicament de les proteïnes, ja que la síntesi proteica és un procés molt costós. Es pot posar com a exemple que amb una dieta (15% de proteïna, 45% d'hidrats de carboni i 40% de greix) que suposa un increment diari de l'aportació energètica de 900-1.800 kcal durant 3 setmanes, es pot tenir un guany mitjà de massa muscular d'uns 1,67 kg¹⁰⁸.

Considerant tot això, podem afirmar que és un error estès entre molts esportistes pensar que un consum més alt de proteïna anirà associat a un guany muscular més gran, ja que la majoria dels atletes en consumeixen més que prou, de proteïna, amb les seves dietes habituals quan l'aportació energètica és suficient, i fins i tot per satisfer les demandes més grans associades a l'exercici¹⁰⁹. Per la qual cosa aquesta pràctica servirà

principalment per augmentar la despesa econòmica de l'esportista i enriquir la butxaca del cada vegada més nombros grup de la indústria de la suplementació.

CONCLUSIONS

– La velocitat de resíntesi del glucogen és màxima en les 2 primeres hores després de fer l'exercici físic i pot durar un total de 24-48 h, segons la durada i intensitat de l'exercici realitzat.

– La ingestió simultània d'hidrats de carboni-proteïna accelera la resíntesi del glucogen muscular, raó per la qual és una bona opció prendre tot just acabat l'exercici físic una barreja de sacarosa o sucre de taula (1 g/kg) amb sèrum de llet (0,5 g/kg).

– La supercompensació o sobrecàrrega d'hidrats de carboni serveix per augmentar les reserves de glucogen per sobre dels nivells normals, i hi ha 3 mètodes per fer-ho: Astrand, Sherman-Costill i Fairchild/Fournier.

– Per augmentar la massa muscular, caldria augmentar l'aportació calòrica total d'una manera equilibrada i no la procedent únicament de les proteïnes, ja que aquestes perden el seu efecte anabòlic quan superen el 15-20% en la contribució energètica total.

Bibliografia

1. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise. The cross over concept. *J Appl Physiol.* 1994;76:2253-61.
2. Brooks GA, Trimmer J. Literature supports the cross over concept. *J Appl Physiol.* 1995;80:1073-5.
3. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol.* 1986;61:165-72.
4. Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci.* 1991;9:29-52.
5. Bergman BC, Butterfield GE, Wolfel EE, Casazza GA, Lopaschuk GD, Brooks GA. Evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. *Am J Physiol.* 1999;276:E106-17.
6. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt, Wolfe RR. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol.* 2000;88:1707-14.
7. El-Khoury AE, Forslund A, Olsson R, Branth S, Sjodin A, Anderson A, et al. Moderate exercise at energy balance does not affect 24-h leucine oxidation or nitrogen retention in healthy men. *Am J Physiol.* 1997;273:E394-E407.
8. Phillips SM, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Macdougall JD. Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes. *J Appl Physiol.* 1983;75:2134-41.
9. Lemon PWR. Effect of exercise on protein requirements. *J Sports Sci.* 1991;9:53-70.
10. Delmas-Beauvieux MC, Quesson B, Thiaudiere E, Gallis JL, Canioni P, Gin H. ¹³C nuclear magnetic resonance study of glycogen resynthesis in muscle after glycogen-depleting exercise in healthy men receiving an infusion of lipid emulsion. *Diabetes.* 1999;48:327-33.
11. Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand.* 1967;71:129-39.
12. Lambert CP, Flynn MG. Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med.* 2002;32:511-22.
13. Hawley JA, Schabert EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 1997;24:73-81.

14. Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol.* 2001;536:295-304.
15. Widrick JJ, Costill DL, Fink WJ, Hickey MS, Mcconell GK, Tanaka H. Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. *J Appl Physiol.* 1993;74:2998-3005.
16. Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol.* 1989;67:2376-82.
17. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* 1993;265:E380-91.
18. Piehl K. Time-course for refilling of glycogen stores in human muscle fibers following exercise-induced glycogen depletion. *Acta Physiol Scand.* 1974;90:297-302.
19. Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci.* 1991;9:29-52.
20. Ivy JL. Optimization of glycogen stores. En: Maughan RJ, editor. *Nutrition in sport.* Oxford: Blackwell Science; 2000. p. 97-111, 126-31.
21. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol.* 1988;64:1480-5.
22. Parkin JA, Carey MF, Martin IK, Sojanovska I, Febbraio MA. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:220-4.
23. Blom PC, Hostmark AT, Vaage O, Kardel KR, Maehlum S. Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:491-6.
24. Ivy JL, Lee MC, Brozinick JT, Reed MJ. Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol.* 1988;65:2018-23.
25. Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:115-9.
26. Hawley JA, Schabert EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 1987;24:73-81.
27. Fallowfield JL, Williams C, Singh R. The influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage during 4 hours of recovery on subsequent endurance capacity. *Int J Sport Nutr.* 1995;5: 285-99.
28. Williams MB, Raven PB, Fogt DI, Ivy JL. Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2003;17:12-19.
29. American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:706-17.
30. Doyle AJ, Sherman WM, Strauss RL. Effects of eccentric and concentric exercise on muscle glycogen replenishment. *J Appl Physiol.* 1993;74:1848-55.
31. Butterfield GE, Gates J, Fleming S, Brooks GA, Sutton JR, Reeves JT. Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J Appl Physiol.* 1992;72:1741-8.
32. Calders P, Matthys D, Derave W, Pannier J-L. Effect of branched-chain amino acids (BCAA), glucose, and glucose plus BCAA on endurance performance in rats. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:583-7.
33. Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: Effect of the glycemic index of carbohydrate feeding. *J Appl Physiol.* 1993;75:1019-23.
34. Burke LM, Collier GR, Beasley SK, Davis PG, Fricker PA, Heeley P, et al. Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *J Appl Physiol.* 1995;78:2187-92.
35. Roy BD, Tarnopolsky MA. Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1998;84:890-6.
36. Roy BD, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Fowles J, Yarasheski KE. Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. *J Appl Physiol.* 1997;82:1882-8.
37. Carrithers JA, Williamson DL, Gallagher PM, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW. Effects of post exercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration. *J Appl Physiol.* 2000;88:1976-82.
38. Ivy JL, Goforth HW, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB. Early post exercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol.* 2002;93:1337-44.
39. Jentjens RL, Van Loon LJ, Mann CH, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE. Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance post exercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol.* 2001;91:839-46.
40. Tarnopolsky MA, Bosman M, Macdonald JR, Vandeputte D, Martin J, Roy BD. Post exercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol.* 1997;83:1877-83.
41. Van Hall G, Shirreffs SM, Calbet JA. Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: no effect of additional protein ingestion. *J Appl Physiol.* 2000;88:1631-6.
42. Van Loon LJ, Saris WH, Kruijshoop M, Wagenmakers AJ. Maximizing post exercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:106-11.

43. Yaspelkis III BB, Ivy JL. The effect of a carbohydrate-arginine supplement on post exercise carbohydrate metabolism. *Int J Sport Nutr.* 1999;9:241-50.
44. Zawadzki KM, Yaspelkis III BB, Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol.* 1992;72:1854-9.
45. Floyd JC, Fajans SS, Conn JW, Knopf RF, Rull J. Insulin secretion in response to protein ingestion. *J Clin Invest.* 1966;45:1479-86.
46. Van Loon LJ, Kruijshoop M, Verhagen H, Saris WH, Wagenmakers AJ. Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases post exercise plasma insulin responses in men. *J Nutr.* 2000;130:2508-13.
47. Van Loon LJ, Saris WH, Verhagen H, Wagenmakers AJ. Plasma insulin responses after ingestion of different amino acid or protein mixtures with carbohydrate. *Am J Clin Nutr.* 2000;72: 96-105.
48. Jentjens R, Jeukendrup AE. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* 2003; 33:117-44.
49. Del Aguila LF, Krishnan RK, Ulbrecht JS, Farrell PA, Correll PH, Lang CH, et al. Muscle damage impairs insulin stimulation of IRS-1, PI 3-kinase, and Aktkinase in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;279:E206-12.
50. Layman DK. Role of leucine in protein metabolism during exercise and recovery. *Can J Appl Physiol.* 2002;27:646-63.
51. Meijer AJ. Amino acids as regulators and components of non-proteinogenic pathways. *J Nutr.* 2003;133:2057S-62S.
52. Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition.* 2004;20:662-8.
53. Berardi JM, Price TB, Noreen EE, Lemon PW. Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1106-13.
54. Bergstrom J, Hultman E, Roch-Norlund AE. Muscle glycogen synthetase in normal subjects. Basal values, effect of glycogen depletion by exercise and of a carbohydrate rich diet following exercise. *Scand J Clin Lab Invest.* 1972;29:1106-13.
55. Fournier PA, Brau L, Ferreira LD, Fairchild T, Raja G, James A, et al. Glycogen resynthesis in the absence of food ingestion during recovery from moderate or high intensity physical activity: novel insights from rat and human studies. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2002;133:755-63.
56. Zachwieja JJ, Costill DL, Pascoe DD, Robergs RA, Fink WJ. Influence of muscle glycogen depletion on the rate of resynthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:44-8.
57. Price TB, Rothman DL, Shulman RG. NMR of glycogen in exercise. *Proc Nutr Soc.* 1999;58:851-9.
58. Andersen LL, Tufekovic G, Zebis MK, Crameri R, Verlaan G, Kjaer M, et al. The effect of resistance training and combined with timed ingestion of protein muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism.* 2005;54:151-6.
59. Kerksick CM, Rasmussen CJ, Lancaster SL, Magu B, Smith P, Melton C, et al. The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res.* 2006;20: 643-53.
60. Willoughby DS, Stout JR, Wilborn CD. Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength. *Amino Acids.* 2007;32:466-77.
61. Costill DL, Sherman WM, Fink WJ, Maresh C, Witten M, Miller JM. The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen synthesis after strenuous running. *Am J Clin Nutr.* 1981;34: 1831-36.
62. Clark K. Nutritional guidance for soccer players for training and competition. *J Sports Sci.* 1994;12:S43-50.
63. Costill DL, Hargreaves M. Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Med.* 1992;13:86-92.
64. Kreitzman SN, Coxon AY, Szaz KF. Glycogen storage: illusions of easy weight loss, excessive weight regain, and distortions in estimates of body composition. *Am J Clin Nutr.* 1992;56:292S-3S.
65. Valeriani A. The need for carbohydrate intake during endurance exercise. *Sports Med.* 1991;12:349-58.
66. Friedman JE, Neuffer PD, Dohm GL. Regulation of glycogen resynthesis following exercise. Dietary considerations. *Sports Med.* 1991;11:232-43.
67. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int J Sports Med.* 1981;2:114-8.
68. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. Carbohydrate loading: a practical approach. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13:90.
69. Sherman WM, Costill DL. The marathon: dietary manipulation to optimize performance *Am J Sports Med.* 1984;12:44-51.
70. Fairchild TJ, Fletcher S, Steele P, Goodman C, Dawson B, Fournier PA. Rapid carbohydrate loading after a short bout of near maximal-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34: 980-6.
71. Pedersen DJ, Lessard SJ, Coffey VG, Churchley EG, Wootton AM, Ng T, et al. High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *J Appl Physiol* 2008;105: 7-13.
72. Churchley EG, Coffey VG, Pedersen DJ, Shield A, Carey KA, Cameron-Smith D, et al. Influence of preexercise muscle glycogen content on transcriptional activity of metabolic and myogenic genes in well-trained humans. *J Appl Physiol* 2007;102: 1604-11.
73. McInerney P, Lessard SJ, Burke LM, Coffey VG, Lo Giudice SL, Southgate RJ, et al. Failure to repeatedly supercompensate muscle glycogen stores in highly trained men. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:404-11.

74. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967; 71:140-50.
75. Bergstrom J, Hultman E. Muscle glycogen synthesis after exercise: an enhancing factor localized to the muscle cells in man. *Nature.* 1966;210:309-10.
76. Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand.* 1967;71:129-39.
77. Jensen J, Jebens E, Brennesvik EO, Ruzzin J, Soos MA, Engebretsen EML, et al. Muscle glycogen inharmoniously regulates glycogen synthase activity, glucose uptake, and proximal insulin signaling. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2006;290: E154-62.
78. Tipton KD, Wolfe RR. Exercise, protein metabolism and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2001;11:109-32.
79. Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol.* 1997;273:E122-9.
80. Butterfield GE. Whole-body protein utilization in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:S157-65.
81. Lemon PWR. Effects of exercise on dietary protein requirements. *Int J Sport Nutr.* 1998;8:426-47.
82. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, et al. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol.* 1992;73:1986-95.
83. Lemon PW, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, et al. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol.* 1992;73: 767-75.
84. Kreider RB, Miriel V, Bertun E. Amino acid supplementation and exercise performance: proposed ergogenic value. *Sports Med.* 1993;16:190-209.
85. Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Atkinson SA. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol.* 1988;64:187-93.
86. Meredith CN, Zackin MJ, Frontera WR, Evans WJ. Dietary protein requirements and body protein metabolism in endurance-trained men. *J Appl Physiol.* 1989;66:2850-6.
87. Fielding RA, Parkington J. What are the dietary protein requirements of physically active individuals? New evidence on the effects of exercise on protein utilization during post-exercise recovery. *Nutr Clin Care.* 2002;5:191-6.
88. Friedman JE, Lemon PWR. Effects of chronic endurance exercise on retention of dietary protein. *Int J Sports Med.* 1989;10: 118-23.
89. Chiang AN, Huang PC. Excess energy and nitrogen balance at protein intakes above the requirement level in young men. *Am J Clin Nutr.* 1988;48:1015-22.
90. Short SH, Short WS. Four-year study of university athletes' dietary intake. *J Am Diet Assoc.* 1983;82:632-45.
91. van Erp-Baart AM, Saris WH, Binkhorst RA, Vos JA, Elvers JW. Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part I: energy, carbohydrate, protein, and fat intake. *Int J Sports Med.* 1989;10:S3-10.
92. Fogelholm M, Himberg JJ, Alopaeus K, Gref CG, Laakso JT, Lehto JJ, et al. Dietary and biochemical indices of nutritional status in male athletes and controls. *J Am Coll Nutr.* 1992; 11:181-91.
93. Demling RH, DeSanti L. Effect of a hypocaloric diet, increased protein intake and resistance training on lean mass gains and fat mass loss in overweight police officers. *Ann Nutr Metab.* 2000; 44:21-9.
94. Boirie Y, Gachon P, Corny S, Fauquant J, Maubois JL, Beaufrere B. Acute postprandial changes in leucine metabolism as assessed with an intrinsically labeled milk protein. *Am J Physiol.* 1996;271:E1083-91.
95. Venkatraman JT, Leddy J, Pendergast D. Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:S389-95.
96. Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, Wolfe RR. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1995;268:E514-20.
97. Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1997; 273:E99-107.
98. Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR. Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol.* 1999;276:E118-24.
99. Rasmussen BB, Phillips SM. Contractile and nutritional regulation of human muscle growth. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003;31: 127-31.
100. MacDougall JD, Gibala MJ, Tarnopolsky MA, MacDonald JR, Interisano SA, Yarasheski KE. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol.* 1995;20:480-6.
101. Hasten DL, Pak-Loduca J, Obert KA, Yarasheski KE. Resistance exercise acutely increases MHC and mixed muscle protein synthesis rates in 78-84 and 23-32 year olds. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;278:E620-6.
102. Willoughby DS, Rosene J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1674-81.
103. Pitkanen HT, Nykanen T, Knuutinen J, Lahti K, Keinanen O, Alen M, et al. Free amino acid pool and muscle protein balance after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35: 784-92.
104. Kobayashi H, Borsheim E, Anthony TG, Traber DL, Badalamenti J, Kimball SR, et al. Reduced amino acid availability inhibits

- muscle protein synthesis and decreases activity of initiation factor eIF2B. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2003;284:E 488-98.
105. Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ. Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: A dose-response study. *J Physiol.* 2003;552: 315-24.
106. Bohe J, Low A, Wolfe RR, Rennie MJ. Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids at rest. *J Physiol.* 2001;532:575-9.
107. Nakazato K, Hirose T, Song H. Increased myostatin synthesis in rat gastrocnemius muscles under high-protein diet. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16:153-65.
108. Forbes GB, Brown MR, Welle SL, Lipinski BA. Deliberate overfeeding in women and men: energy cost and composition of weight gain. *Br J Nutr.* 1986;56:1-9.
109. Grandjean AC. Diets of elite athletes: Has the discipline of sports nutrition made an impact? *J Nutr.* 1997;127:874S-7.