

# KOSTOPTIMERING FOR ELITEIDRÆTSUDØVERE OG SUPERMOTIONISTER

Af Andreas Mæchel Fritzen, adjunkt, ph.d.; Annemarie Lunds-gaard, postdoc, ph.d. og Bente Kiens, Professor, ph.d., dr.scient. August Krogh Sektion for Molekylær Fysiologi, Institut for Idræt og Ernæring, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet. Kontakt: bkiens@nexs.ku.dk

Det er afgørende for atleter at fokusere på deres daglige kost for at få mest ud af træningen. Foruden typen og mængden af makronæringsstoffer er både energiindtagelsen og spiserytmen essentielle faktorer i optimering af kosten. I denne artikel beskriver vi ernæringsmæssige principper for optimering af træningsudbyttet for idrætsudøvere, der træner meget.

## Kulhydrat

Kulhydrat er det primære substrat til at dække energiforbruget under højintens muskelarbejde, men brugen af kulhydrater er også stor ved længerevarende, moderat-intens muskelarbejde. Den lagrede form af kulhydrat i skeletmusklerne; glykogen, samt blodglukose frigivet fra leveren, udgør tilsammen de primære kilder til kulhydratforbruget under muskelarbejde. Glykogenlagrene i skeletmuskulaturen og leveren er ikke store, hvilket betyder, at skeletmuskulernes og leverens glykogenlagre vil være udtømte efter 70-120 minutters kontinuerligt eller intervalbaseret fysisk aktivitet (1). Hastigheden, hvormed depoterne udtømmes, stiger lineært med intensiteten af aktiviteten. Derfor vil der ved meget høj-intens muskelarbejde, som ved styrketræning eller gentagne sprint, ses betydelig udtømming af musklernes glykogendepoter efter blot 10-20 minutters aktivitet. Det betyder, at genopfyldning af glykogenlagrene før næste træningspas bliver et vigtigt fokus i kostplanlægningen til atleten.

## Timing og mængde

For at maksimere genopfyldningen af muskelglykogen er det centralt at indtage kulhydrat i de første timer efter endt fysisk aktivitet. Muskens optagelse af glukose (kulhydraters primære form i blodet) fra blodbanen og virkningen af hormonet insulin er forøget, hvilket tilsammen tilgodeser en øget lagring af glykogen i perioden efter endt muskelarbejde. Dette understreges af, at muskelglykogenlagringshastigheden er fundet at være betydeligt lavere, hvis kulhydraterne først indtages to timer efter endt muskelarbejde (2). Det efterlader spørgsmålet om, hvor meget kulhydrat der skal til for at optimere glykogenopbygningen maksimalt i denne periode. Vi har sammenlignet 25 interventionsstudier, der alle undersøgte indtagelsen af forskellige mængder af kulhydrat (0-2,1 g kulhydrat/kg kropsvægt/time) og muskelglykogenlagringshastigheden i timerne efter muskelarbejde (1). Gennemgangen af studierne viste, at jo mere kulhydrat, der blev indtaget op til en kulhydratmængde på ca. 1.0 g kulhydrat/kg kropsvægt/time, jo større var glykogenlagringen i både utrænede og veltrænede, om end trænede havde større absolut glykogenopbygning pr. given kulhydratindtagelse (se figur 1 samt (1)). En indtagelse over denne mængde resulterer dog ikke i en større glykogenlagring.

## Type

Typen af kulhydrat i kosten betyder også noget for, hvor hurtigt der kan ses en stigning i glukoseindholdet i blodet – og derved også for muskelglykogenopbygningshastigheden. I den forbindelse kan fødevarers glykæmiske indeks anvendes, idet glykæmisk indeks af kulhydrater refererer til effekten af en given kulhydratmængde på blodglukosekoncentrationen over 60-120 min. efter indtagelsen af fødevarer (3). Ud fra dette inddeles kulhydratrige fødevarer som værende høj-, moderat- og lav-glykæmiske (se figur 2 for eksempler på fødevarer). Studier har vist, at i veltrænede mænd er

muskelglykogenlagringshastigheden ca. 40% lavere ved indtagelse af kulhydratrige måltider indeholdende primært lav-glykæmiske fødevarer sammenlignet med høj-glykæmiske (3). Samtidig sås det, at muskelglykogendepoterne var genopfyldt efter 20-22 timer ved indtagelsen af høj-glykæmiske kulhydratkilder, mens det tog op til 40 timer ved indtagelsen af lav-glykæmiske kulhydratkilder (3). For at stimulere muskelglykogenlagringen maksimalt bør der således indtages adskillige kulhydratrige måltider i timerne efter fysisk aktivitet bestående af overvejende moderat-til-høj-glykæmiske kilder for at bibeholde tilbuddet af glukose til musklerne. Forud for træningspas er høj-glykæmiske kulhydratkilder dog ikke nødvendigvis fordelagtige. For nogen kan indtagelsen af et kulhydratrigt måltid for tæt på træningspassets påbegyndelse have en negativ indvirkning på præstationsevnen, idet høj insulinkoncentration i blodet i kombination med påbegyndelse af muskelarbejde vil aktivere to forskellige og additive mekanismer for glukoseoptagelse ind i musklerne, hvilket kan skabe et fald i blodglukoseniveauet ved aktivitetens start og hæmme tilgængelighed af glukose til hjernen. Derfor bør det sidste måltid være mere moderat-til-lav-glykæmisk for at undgå for store udsving i glukose- og insulinkoncentration i blodbanen. Alternativt vil en høj-intens opvarmning ofte kunne modvirke et sådan fald ved at aktivere frigivelse af glukose fra leveren.

## Fedt

Den veltrænede atlet har en øget kapacitet til at forbrænde fedt under muskelarbejde i forhold til det utrænede individ. Der har derfor været spekuleret i, om indtagelsen af en fedttrig kost (>60 E% fedt), der er lav på kulhydrat (<25 E% kulhydrat), vil kunne forbedre den fysiske præstationsevne. Hypotesen har været, at en fedttrig kost vil øge tilbuddet af fedtsyrer til musklerne, hvilket kunne øge fedtforbrændingen i musklerne under arbejde og derved spare på glykogen, hvilket i sidste ende kunne forbedre præstationsevnen ved længerevarende aktivitet. Indtagelse af en fedttrig kost har ganske rigtig også vist at øge forbrændingen af fedt både i hvile og under moderat såvel som høj-intens muskelarbejde. Den større tilgængelighed af fedt fra kosten vil også medføre en række positive adaptationer i skeletmusklen, der vil øge kapaciteten for at forbrænde fedt (4). Disse adaptationer er dog også velkendte træningsadaptationer, og de positive effekter af en fedttrig kost på musklens kapacitet for fedtforbrænding synes således mindre i veltrænede atleter. Dertil har studier afdækket, at selvom atleter kan øge deres forbrænding af fedt og minimere forbruget af glykogen som energikilde under muskelarbejde efter en træningsperiode, hvor der har været indtaget en fedttrig kost, så er forbedringen i præstationen mindre, sammenlignet med hvis der var indtaget en kulhydratrig kost (5,6). Det synes dermed ikke at være gavnligt for den aktive idrætsudøver at indtage en fedttrig kost (>60 E%).

Indtagelsen af fedt i kosten må på den anden side heller ikke blive for lav – ej heller for atleter. Udover at levere essentielle fedtsyrer og fedtopløselige vitaminer, så kan inddragelse af fedt, og den dermed højere energidensitet i kosten, hjælpe atleter med at dække et stort energibehov. Dette er underbygget af fund i veltrænede løbere, som var betydeligt tættere på at kunne opnå deres estimerede energibehov ved at indtage en ad libitum kost med moderat til højt fedtindhold (31-44 E%) end ved et lavt fedtindhold (17 E%) (7).

## Protein

Den almene befolkning bør generelt indtage minimum 0,8 g protein/kg kropsvægt/dag, mens der synes at være et større behov for protein for både styrke- og udholdenhedsstrænende atleter. Størrelsen på det ekstra behov for protein hos atleter er dog under fortsat debat.

Størstedelen af forskningen vedrørende proteinbehov hos atleter har fokuseret på styrketræning, hvor mange atleter har et ønske om at forøge deres styrke ved at stimulere til muskeltilvækst. For at skabe optimale betingelser for muskeltilvækst med styrketræning har en metaanalyse vist, at jo mere protein, der indtages op til 1,6 g protein/kg kropsvægt/dag, jo større muskeltilvækst ses der ved samtidig styrketræning (8). En proteinindtagelse derover synes dog ikke at give yderligere gevinst, og styrketræningens karakter (mængde, intensitet og frekvens) er langt mere betydningsfuld for graden af muskeltilvækst end proteinindtagelsen.

En proteinindtagelse på 1,6 g protein/kg kropsvægt/dag er langt mindre, end hvad de fleste styrketrænende atleter indtager, og hvad der opfattes optimalt i mange "fitnesskredse" (1). Proteinindtagelsen hos den almene danske befolkning har i tidligere kostundersøgelser vist et gennemsnit på ca. 1,5 g protein/kg kropsvægt/dag. Så de fleste får rigeligt protein i kosten til at skabe betingelser for at stimulere muskeltilvækst maksimalt med styrketræning. For atleter, der primært laver udholdenhedstræning, og for hvem muskeltilvækst ikke er et specifikt mål eller ligefrem er uønsket, mangler der fortsat viden om, hvad den optimale proteinindtagelse er. På baggrund af de få studier, der foreligger, tyder det på, at ca. 1,2 g protein/kg kropsvægt/dag formentlig er tilstrækkeligt (9). En større indtagelse end dette er næppe i sig selv præstations- eller sundhedsmæssigt negativt, men kan gøre det vanskeligere for disse atleter at få tilstrækkeligt med f.eks. kulhydrat i kosten. Mange udholdenheds- og intervalsportsatleter vil derfor givet kunne have gavn af at nedsætte proteinindtagelsen og i stedet prioritere kulhydrat og fedt (1,10).

#### Timing og proteinmængde i restitutionfasen

Et dansk studie fra 2001 viste, at ældre (70-80 år), der udførte et styrketræningsprogram, kun opnåede forbedringer i styrke- og muskeltilvækst, hvis de indtog 10 g protein umiddelbart efter træningspassene, men ikke hvis de ventede to timer med at indtage protein (11). Det har gjort det obligatorisk for mange at indtage protein umiddelbart efter styrketræningspas. Siden har metaanalyser af adskillige opfølgende studier i unge og trænede individer dog ikke kunnet bekræfte en vigtighed af at få protein under eller umiddelbart efter styrketræningspas (12). Muskulernes nydannelse af protein stimuleres maksimalt ved indtagelse af blot 20-30 g protein pr. måltid (0,25-0,3 g protein/kg kropsvægt) og større mængder end disse vil ikke stimulere musklerne yderligere (13). Det er endvidere vist, at frekvente mindre måltider indeholdende 20 g protein spredt henover restitutionperioden efter muskelarbejde (hver 3. time) stimulerer nydannelse af protein mere end få større måltider indeholdende mere protein (40 g hver 6. time) (14). Det er derfor nok fordelagtigt at få lidt protein umiddelbart efter et styrketræningspas og så ellers frekvente måltider ca. hver 3. time indeholdende ca. 20 g protein indtil totalt behov for protein er opnået ved en mængde på 1,2-1,6 g protein/kg kropsvægt/dag (svarende til 4-7 måltider à 20-25 g protein hver 3. time), hvis optimale betingelser for maksimal muskeltilvækst ved styrketræning er ønsket. Hvis der trænes sent om aftenen, og der derfor ikke er mange timer at spise i, bør dette optimalt set genoptages dagen efter.

#### Proteintyper og -kilder samt supplementering

Forskellige typer af protein har varierende effekt i ft. stimulering af muskulernes nydannelse af protein og dermed potentiale for at skabe muskeltilvækst ved samtidig styrketræning. Bl.a. har der været meget forskning i valleprotein fra mælk, som er vist at være særlig potent til at stimulere musklens nydannelse af protein i perioden efter et styrketræningspas (1). I hvilken grad en proteinkilde synes at være effektiv til at stimulere musklens nydannelse af protein synes at afhænge af indholdet af essentielle aminosyrer. I særdeleshed er den forgrenede aminosyre leucin påvist at være potent som igangsættende signal for processen (1). Det er derfor, at en proteinkilde som æg, der har en komplet aminosyreprofil (alle de essentielle aminosyrer), sammen med mælk og kød ofte er foreslået til atleter, da det betragtes som høj kvalitetsprotein.

Absorptionen af proteinet er også bidragende til forskellen i pro-

teinkilders effektivitet. Det er årsagen til, at valleprotein er så virkningsfuld, da det hurtigt optages i blodbanen efter indtagelse. Dog kan langsomt optagelige proteinkilder, f.eks. kasein og risprotein, være favorabel på andre tidspunkter. Ved indtagelse om aftenen kan det potentielt medvirke til at skabe en langvarig, kontinuerligt forøget tilgængelighed af aminosyrer henover den ellers negative proteinbalance observeret ved faste natten over (15).

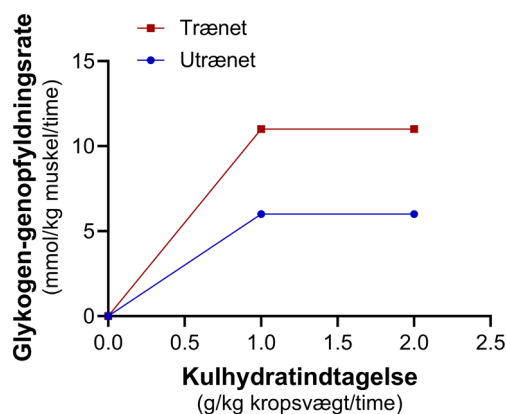
Generelt anses animalske proteinkilder mere effektive til at stimulere nydannelsen af protein i musklen end vegetabiliske proteinkilder, da sidstnævnte typisk absorberes langsommere, optages i lavere/ringere grad og indeholder en mindre fuldkommen aminosyreprofil. Det kan dog godt lade sig gøre at få tilstrækkeligt med protein med en velovervejede sammensætning af vegetabiliske fødevarer, om end en lidt større total proteinindtagelse synes nødvendig, end hvis også animalske proteinkilder inddrages i kosten. Generelt kan der med en varieret kost imødekommes krav til total proteinindtagelse og den anbefalede mængde, sammensætning og timing af aminosyreindtagelse omkring et træningspas. Det skønnes derfor ikke nødvendigt for nogen typer af atleter at supplementere med proteinpulver. Det kan være en bekvemmelig måde at muliggøre proteinindtagelse efter træningspas, men næringsstoftheden er lav i sådanne produkter og bibringer således ikke andre vigtige komponenter til kosten.

#### Energiindtagelse

En ofte overset faktor i den optimale kost til idrætsudøvere er, hvorvidt det totale energibehov tilgodeses med kosten. Fysisk aktivitet medfører ikke nødvendigvis øget sultfølelse og dermed kompensation af det større energiforbrug. Snarere er fysisk aktivitet vist at regulere hormoner, der hæmmer sult og øger mæthed (16). Det er problematisk, idet en tilstrækkelig energiindtagelse er en afgørende forudsætning for, at eksempelvis en given kulhydratindtagelse er adækvat for optimal genopfyldning af glykogenlagre, eller at en given proteinindtagelse kan sikre optimal muskelproteinbalance og nydannelse af protein. Tilstrækkelig energiindtagelse er også vist at være central for præstationsevnen.

Utilstrækkelig energiindtagelse er et udbredt fænomen blandt atleter i et bredt spektrum af idrætsgrene og er særlig prævalent blandt eliteatleter i vægtbærende idrætsgrene og idræt med et æstetisk element. Energitilgængelighed er defineret som energiindtagelsen fratrukket det energiforbrug, der er forbrugt i forbindelse med træning og anden daglig, fysisk aktivitet. For at undgå for lav tilgængelighed af energi er det en tommelfingerregel, at energitilgængeligheden bør være minimum 45 kcal/kg fedtfri masse (17). Der er betydelig evidens for, at energitilgængelighed under dette niveau kan have alvorlige konsekvenser, ikke blot for den fysiske ydeevne, men også for den hormonelle, immunologiske og sundhedsmæssige status hos både mænd og kvinder.

En optimal energiindtagelse i hverdagen, især når der trænes hver dag, kan være vanskelig at opnå – og skal derfor være et fokusområde i kostplanlægningen til atleten.



Figur 1. Grafisk illustration af sammenhæng mellem indtaget kulhydrat og muskel-glykogen genopfyldningsrate i de første seks timer efter udmattende glykogenudtømmende muskelarbejde baseret på 25 interventionsstudier. Figuren er inspireret fra (1).

## Praktiske overvejelser

Fuldstændig genopfyldning af glykogendepoterne i musklerne efter et glykogenudtømmende muskelarbejde tager ca. 24 timer under optimale omstændigheder (18). Hvis den fysiske aktivitet har inkluderet excentrisk muskelarbejde som f.eks. forekommer i en fodboldkamp, vil der gå endnu længere tid (10). Trænes der høj-intense, langvarige træningspas to gange dagligt vil selv en kost tilsigtet optimale betingelser for glykogenlagring ikke kunne sikre en fuldstændig genopfyldning af depoterne imellem træningspas. I sådanne tilfælde må det forventes, at efterfølgende træningspas finder sted med reducerede glykogenlagre – og træningen bør derfor tilrettelægges derefter.

Der er en velkendt positiv sammenhæng mellem kulhydratmængden i kosten og glykogenlagring efter træningspas, indtil muskelglykogenlagringskapaciteten opnås op til en grænse omkring 7-10 g kulhydrat/kg kropsvægt/dag (19). For atleter med en stor ugentlig træningsmængde kan en kulhydratindtagelse i den størrelsesorden være nødvendig.

### Kulhydratfælden

Indtagelse af så betydelig en mængde kulhydrat kan dog være svært for mange atleter grundet madens store volumen og dermed store mæthedseffekt. Hvor meget kulhydrat, der bør indtages, afhænger også af, hvor stor den daglige energiindtagelse er. Ved høj kulhydratindtagelse på f.eks. 10 g kulhydrat/kg kropsvægt/dag vil der ikke være meget plads til andre makronæringsstoffer, hvis den totale energiindtagelse er på 15-16 MJ om dagen (10 g kulhydrat/kg kropsvægt/dag i en 75 kg atlet svarer til 12,75 MJ). I dette tilfælde må der indtages 6-7 g kulhydrat/kg kropsvægt/dag for at kunne tilgodese, at der også skal indtages tilstrækkeligt med protein og fedt i kosten. Er den daglige energiindtagelse på 20 MJ og derover, vil det være lettere at følge de høje kulhydratanbefalinger.

For atleter, som ikke dagligt udtømmer muskelglykogenlagrene med 1-2 lange eller høj-intense træningspas, vil mindre mængder kulhydrat i kosten være tilstrækkeligt (5-7 g kulhydrat/kg kropsvægt/dag). Dertil bør en atlet og vedkommendes træner overveje, hvorvidt særligt store træningsmængder med frekvente træningspas med høj intensitet er nødvendige og fordelagtige, når glykogenopfyldning mellem træningspas ikke er muligt.

Værd at bemærke er, at der de senere år har været spekuleret i bevidst ikke at prioritere muskelglykogenlagring mellem træningspas. Træning på lave glykogendepoter vil generere et større energistress på musklen og i større grad aktivere signalsystemer involveret i muskulære træningsadaptationer. Det vil dog også bevirke, at der ikke kan trænes på samme høje intensitet, som ligeledes er af stor betydning for udbyttet af træningen. De fleste studier, der har sammenlignet træning med initialt fyldte eller tømte glykogendepoter, viser, at der over tid ikke er en præstationsmæssig fordel ved at træne på halv- til heltømte glykogendepoter (20).

Optimalt set bør kosten til eliteatleten således være individuel og periodiseret med udgangspunkt i den enkelte atlets specifikke træningsprogram. Her tænkes især på energikrav og tid mellem træningspas. Principperne for maksimering af glykogen genopfyldning og muskelproteinnydannelse bør afvejes i forhold til atletens evne til at indtage tilstrækkeligt med energi og kan i mindre intense træningsperioder til en vis grad afviges for at åbne op for større indtagelse af mere uforarbejdede, fiberrige, lav-glykæmiske kulhydratkilder.

Tilstrækkelig væskeindtagelse for atleten er ligeledes af afgørende betydning for evnen til at træne optimalt og adaptere maksimalt til træning, men er ikke yderligere diskuteret i nærværende artikel - fokuserende på kostens makronæringsstofindhold - grundet pladmangel

### Acknowledgement

Denne artikel er skrevet som en del af det Nationale Netværk for Præstation, Restitution og Ernæringsmæssig optimering i Intervalsport (PRoKIT), der er støttet af Team Danmark gennem Novo Nordisk Fonden (NNF18SA0055896).

## Glykæmisk indeks (GI)

(Glukosedrik som reference)

Højt GI (>75)	Moderat GI (75-50)	Lavt GI (<50)
Hvidt brød Bagels Corn flakes Ris (hvide) Kogte kartofler Mosede kartofler Gulerødder Honning Glukose Sportsdrikke	Wienerbrød Ris (brune) Paste (hvid) Nudler Müsli Digestive kiks Banan (moden) Rosiner Sukrose Appelsinjuice	Spaghetti (fuldkorn) Kidneybønner Soyabønner Kikærter Linser Æbler, pærer Blommer, fersken Nødder Mælk, yoghurt Fruktose

Figur 2. Oversigt over udvalgte eksempler på fødevarer med hhv. høj-, moderat-, og lavt glykæmisk indeks (GI) med glukose som reference til bestemmelse af glykæmisk indeks. Figuren er inspireret fra (3).

### Referencer

1. Fritzen AM et al., Dietary Fuels in Athletic Performance. *Annu Rev Nutr* 39:45-73. May 28.:45-73, 2019
2. Ivy JL et al., Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* (1985 ) 64:1480-1485, 1988
3. Kiens B., Ernæring i forbindelse med træning og konkurrence. In *Sportsernæring*. 3 ed. Suhr LK, Larsen REK, 2019
4. Fritzen AM et al., Tuning fatty acid oxidation in skeletal muscle with dietary fat and exercise. *Nat Rev Endocrinol* 16:683-696, 2020
5. Helge JW et al., Interaction of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *J Physiol* 492:293-306, 1996
6. Burke LM et al., Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol* 595:2785-2807, 2017
7. Horvath PJ et al., The effects of varying dietary fat on the nutrient intake in male and female runners. *J Am Coll Nutr* 19:42-51, 2000
8. Morton RW et al., A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med* 52:376-384, 2018
9. Tarnopolsky M., Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition* 20:662-668, 2004
10. de Sousa MV et al., Nutritional optimization for female elite football players-topical review. *Scand J Med Sci Sports*10, 2021
11. Esmarck B et al., Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 535:301-311, 2001
12. Schoenfeld BJ et al., The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr* 10:53-10, 2013
13. Moore DR et al., Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 70:57-62, 2015
14. Areta JL et al., Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J Physiol* 591:2319-2331, 2013
15. Res PT et al., Protein ingestion before sleep improves postexercise overnight recovery. *Med Sci Sports Exerc* 44:1560-1569, 2012
16. King JA et al., Influence of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. *Appetite* 54:492-498, 2010
17. Loucks AB et al., Energy availability in athletes. *J Sports Sci Jul* 28.:S7-15, 2011
18. Kiens B, Richter EA., Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans. *Am J Physiol* 275:E332-E337, 1998
19. Burke LM et al., Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci* 22:15-30, 2004
20. Yeo WK et al., Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J Appl Physiol* (1985 ) 105:1462-1470, 2008