DE MENSELIJKE MOTOR

Prof.dr. L.J.C. van Loon

Inhoudsopgave

Voeding als energie 2

Energiegebruik tijdens inspanning 5

Inspanningsintensiteit 5

Training 6

Sportvoeding 8

Voeding vóór inspanning 8

Voeding tijdens inspanning 10

Voeding na inspanning 13

Tot slot 16

Referenties 17

HOUD DE MOTOR DRAAIENDE

Komt de man met de hamer? Of is er nog net voldoende energie over voor een winnende eindsprint? Juiste sportvoeding kan het verschil maken tussen winnen en verliezen.

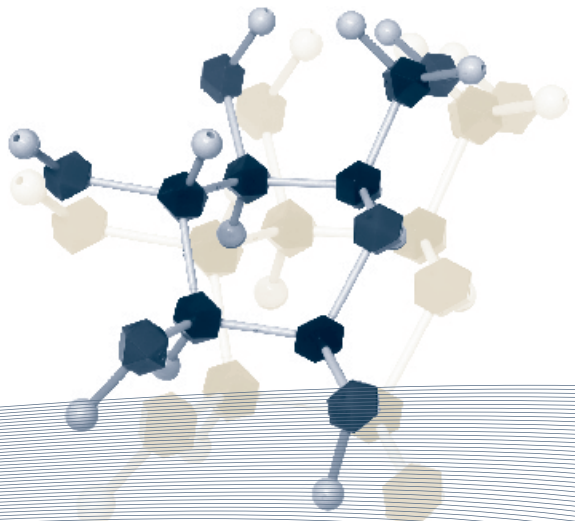
Beweging kost energie, bij sporters soms zelfs heel veel energie. De spieren halen die energie uit de voeding, vooral uit de energiebronnen koolhydraten en vetten. De keuze voor de energiebron hangt af van de omstandigheden. De intensiteit van de inspanning, de voedingstoestand en de trainingsstatus van de sporter zijn van grote invloed. Bovendien is de voeding van de sporter interessant voor de wetenschap: voortdurend zijn er onderzoeken die weer nieuwe inzichten opleveren.

Wist u bijvoorbeeld dat...

... een getraind persoon meer vet kan verbranden dan een ongetraind persoon?
... regelmatig trainen ervoor zorgt dat een sporter langere tijd een bepaalde inspanningsintensiteit kan handhaven voordat de glycogeenvoorraad op raakt?
... dit komt doordat het lichaam van getrainde personen meer gebruik maakt van de vetoxidatie?
... het koolhydraatgehalte, het natriumgehalte en de osmolaliteit van een sportdrank van groot belang zijn ter compensatie van vochtverlies door transpiratie?
... een combinatie van eiwitten en koolhydraten zorgt voor een sneller herstel na de inspanning?

In deze publicatie 'De menselijke motor' leest u meer over de energievoorraden in het lichaam en energieverbruik bij inspanning. Daarnaast wordt er uitgebreid aandacht besteed aan de noodzaak van een gebalanceerde (sport)voeding, mét daarbij een toelichting. Compacte kaders met korte adviezen maken het geheel compleet. Auteur is Prof.dr. Luc van Loon, hoogleraar Fysiologie van Inspanning aan de Universiteit Maastricht. Van Loon doet veel onderzoek op het gebied van voeding en (top)sport. Hij verstaat de kunst zijn kennis te vertalen in duidelijke taal.

Met de juiste brandstofkeuze blijft de motor langer draaien!



VOEDING ALS ENERGIE

Om ons lichaam te kunnen bewegen is een goed samenspel van spiercontractie en ontspanning noodzakelijk. Om dergelijke spieractiviteit te kunnen genereren hebben onze spieren energie, in de vorm van de universele energiedonor ATP, nodig. De benodigde energie wordt met name geleverd door oxidatie van de, uit onze voeding afkomstige, koolhydraten en vetten. Slechts wanneer de energievoorziening middels koolhydraten en vetten onvoldoende blijkt, kan de oxidatie van eiwitten een substantiële bijdrage gaan leveren. Omdat ons lichaam continu energie nodig heeft om te kunnen blijven functioneren is een ruime endogene brandstofvoorraad noodzakelijk. Vandaar dat koolhydraten en vetten na inname via de voeding, in beperkte mate, in ons lichaam kunnen worden opgeslagen.

Tabel 1. Endogene brandstofvoorraden

	brandstoffen	gewicht (gram)	energie (kJ)
vetten	plasma vrije vetzuren	0.4	16
	plasma triglyceriden	4.0	156
	intramusculair vet	300	11.700
	vetweefsel	12.000	468.000
koolhydraten	plasma glucose	5	90
	lever glycogeen	100	1.800
	spier glycogeen	350	6.300

Gebaseerd op schattingen t.a.v. een gemiddelde, slanke man met een gewicht van ongeveer 70 kg.
Bij de oxidatie van 1 gram vet komt 39 kJ aan energie vrij , voor koolhydraten ligt dit rond de 18 kJ/g[40].

Vetten worden voornamelijk opgeslagen als triacylglycerol in de vetcellen, oftewel adipocyten. Deze adipocyten bevinden zich voornamelijk in het onderhuids vetweefsel en in het vetweefsel tussen de organen in de buikholte. Daarnaast wordt een beperkte hoeveelheid triacylglycerol opgeslagen in de spier zelf, als vele kleine vetdruppeltjes in de spiervezels (intramusculaire of intramyocellulaire triglyceriden). Natuurlijk is een kleine hoeveelheid vet ook aanwezig in de circulatie, in de vorm van lipoproteine partikels (VLDL, LDL, IDL, HDL) en als zogenaamde vrije (niet-veresterde) vetzuren in het bloed.

De totale energievoorraad opgeslagen in de vorm van vet is enorm groot en zou (hypothetisch) voldoende energie kunnen leveren om dagenlang onafgebroken hard te lopen.

Middels de lipolyse worden vanuit het vetweefsel vetzuren vrijgemaakt, hetgeen voornamelijk gereguleerd wordt via hormoon gevoelig lipase (HSL). Een gedeelte van de vrijgemaakte vetzuren zal vervolgens, gebonden aan albumine, via de bloedcirculatie getransporteerd worden naar onze spieren. Aldaar kunnen de spieren deze vetzuren opnemen, waarna ze vervolgens ingebouwd kunnen worden in

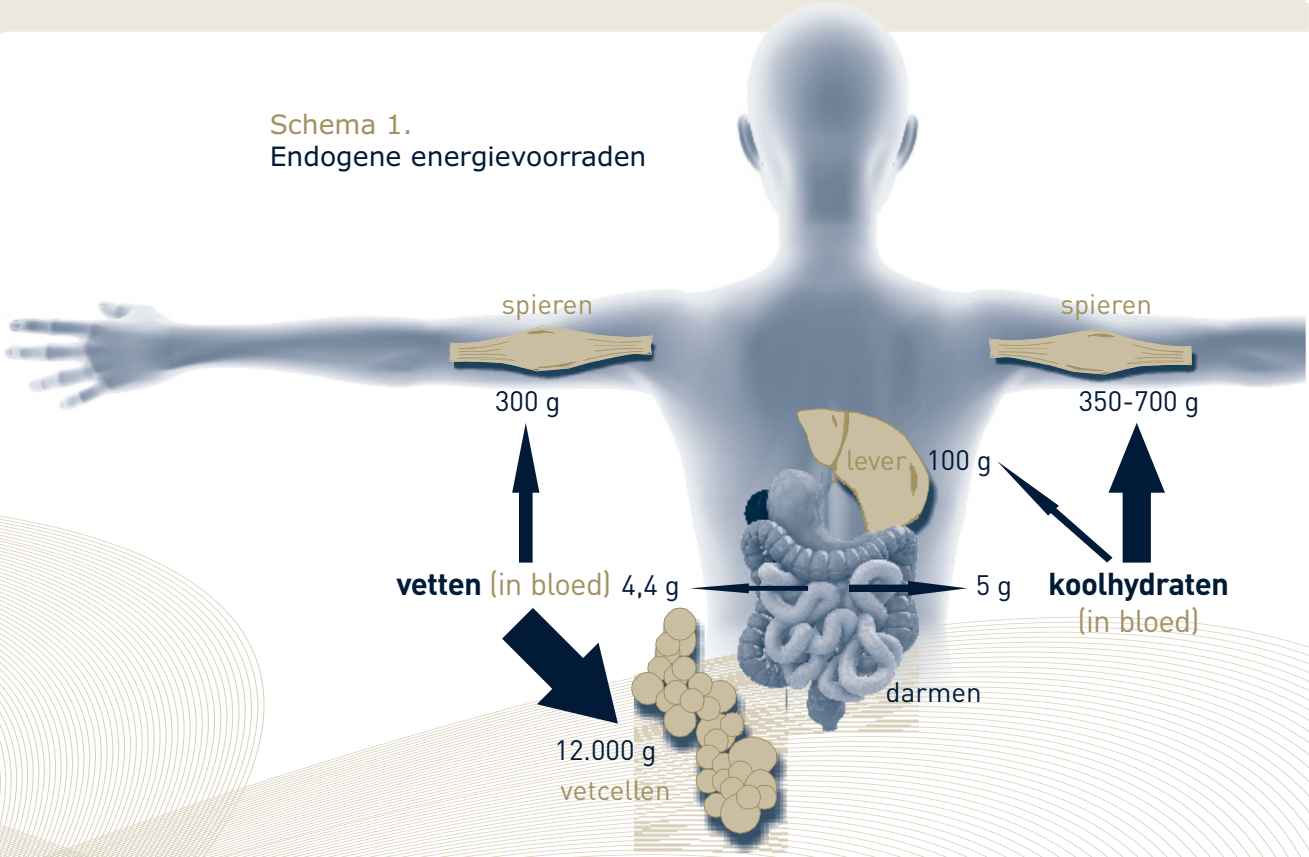
de intramyocellulaire triacylglycerol voorraad of onmiddellijk kunnen worden omgezet ten behoeve van de vetoxidatie. De totale energievoorraad opgeslagen in de vorm van vet is enorm groot en zou (hypothetisch) voldoende energie kunnen leveren om dagenlang onafgebroken hard te lopen.

Koolhydraten worden als glycogeen opgeslagen in de lever en in de spieren. Daarnaast is natuurlijk een kleine hoeveelheid glucose aanwezig in de circulatie. Leverglycogeen kan, middels het enzym glycogeen-6-fosfatase, afgebroken worden tot glucose en vervolgens via de circulatie getransporteerd worden naar de spieren. Na opname in de spier kan glucose opgeslagen worden als spierglycogeen of onmiddellijk gebruikt worden in de energieleverende processen (glycolyse en/of volledige oxidatie). Aangezien het enzym glycogeen-6-fosfatase niet aanwezig is in spierweefsel, kan de opgenomen glucose het spierweefsel niet meer verlaten. Het moge dus duidelijk zijn dat de lever (en met name de hoeveelheid lever glycogeen) een primaire rol speelt bij het handhaven van de plasma glucose concentratie. De totale hoeveelheid energie opgeslagen in de vorm van endogene koolhydraten is vele malen kleiner dan onze vetvoorraad en zou in theorie slechts voldoende energie opleveren voor 60 tot 90 minuten intensieve inspanning. In de praktijk ligt dit zelfs aanzienlijk lager (30-40 minuten) daar bij intensieve inspanning de dominante spiervezels in de benen al eerder door hun glycogeenvoorraad zullen heen raken[40].

Koolhydraten worden vaak omschreven als een ‘snelle’ brandstofbron en vetten als ‘langzame’ energiebron.

Koolhydraten en vetten verschillen van elkaar wanneer we de metabole processen in acht nemen. Bij de verbranding van 1 gram vet komt 39 kJ aan energie vrij, terwijl dit in het geval van koolhydraten maar zo'n 18 kJ per gram bedraagt. Met andere woorden, het is niet vreemd dat meer dan 95% van onze totale endogene energievoorraad is opgeslagen in de vorm van vet, want vet is duidelijk de meest efficiënte vorm van energieopslag. Dit is echter niet het enige verschil tussen deze twee brandstoffen. De hoeveelheid energie die per tijdseenheid vrijgemaakt kan worden middels de oxidatie van glycogeen is namelijk hoger dan bij de vetoxidatie[36]. Vandaar dat koolhydraten vaak worden omschreven als een "snelle" brandstofbron en vetten als "langzame" energiebron. Dit laatste heeft natuurlijk consequenties voor het gebruik van de verschillende brandstofbronnen onder verschillende omstandigheden.

Schema 1.
Endogene energievoorraden



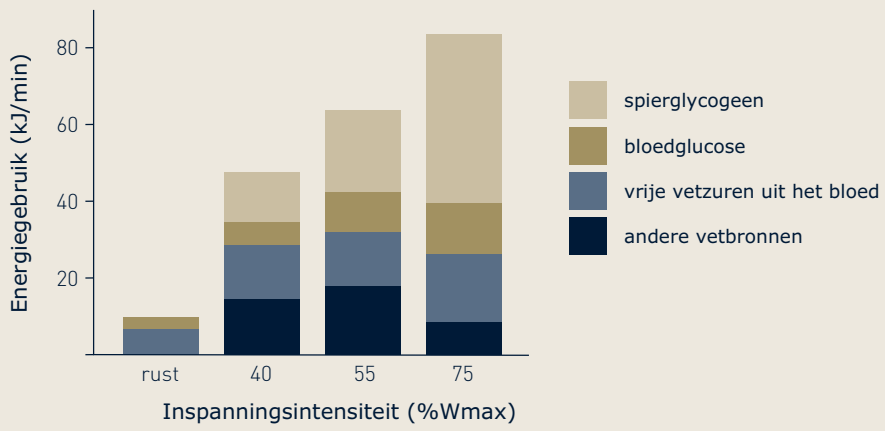
ENERGIEGEBRUIK TIJDENS INSPANNING

Eén van de meest opzienbarende eigenschappen van onze spieren is dat ze in staat zijn hun brandstofkeuze aan te passen aan de omstandigheden. Hierdoor kan de mens dan ook als een zeer efficiënte en ingewikkelde motor beschouwd worden, ongeëvenaard door de hedendaagse technologie. Vanwege de verschillende eigenschappen van de brandstoffen, de plaats van opslag, als ook de beschikbaarheid ervan zal de bijdrage van de verschillende energiebronnen aan het energiegebruik tijdens inspanning variëren onder verschillende omstandigheden. De meest belangrijke factoren die de brandstofkeuze tijdens inspanning bepalen zijn de inspanningsintensiteit en de trainingstatus. Daarnaast kunnen we middels onze (sport)voeding de substraatkeuze verder moduleren.

Inspanningsintensiteit

De inspanningsintensiteit bepaalt de energiebehoefte tijdens fysieke inspanning. Middels het gebruik van stabiele isotoop tracers hebben we het gebruik van de verschillende endogene brandstofvoorraden in relatie tot inspanningsintensiteit kunnen kwantificeren[41] (Figuur 1).
Tijdens licht- tot middelmatig intensieve inspanning wordt een ongeveer evenredige hoeveelheid van de opgeslagen koolhydraten en vetten geoxideerd om in de energiebehoefte te voorzien. De hoogste (absolute) vetoxidatie snelheden worden bereikt bij middelmatig zware inspanning (50-60% van het maximaal vermogen). Hierbij leveren niet alleen de vetzuren afkomstig uit het bloed, maar ook de intramusculaire triglyceriden een belangrijke bijdrage aan de totale vetoxidatie.

Figuur 1. Energiegebruik als functie van de inspanningsintensiteit



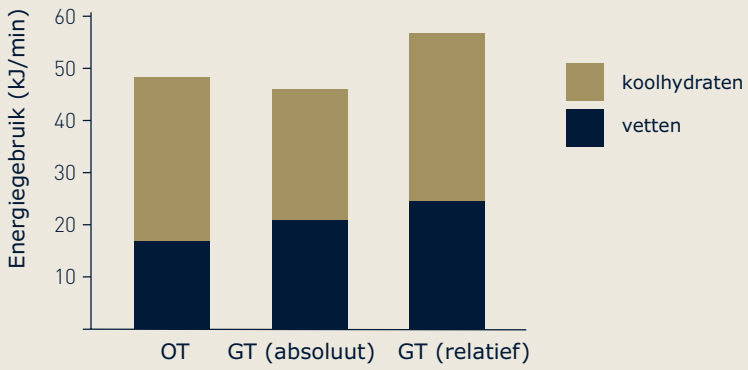
Energiegebruik (uitgedrukt in kJ per minuut) als functie van inspanningsintensiteit (uitgedrukt als percentage van het maximaal vermogen). De bijdrage van de verschillende energiebronnen (bloed glucose (afkomstig van de glycogeen uit de lever), spierglycogeen, bloed vrije vetzuren (afkomstig van het vetweefsel) en andere vetbronnen (somma van het gebruik van de triglyceriden uit de spier en de lipoproteinen in het bloed) zijn aangegeven in de legenda[41].

Wanneer de inspanningsintensiteit verder wordt verhoogd (boven 70% van het maximale vermogen) neemt de vetoxidatie, zowel relatief als absoluut gezien, significant af en schakelen de spieren vooral over op het gebruik van de endogene glycogeen voorraden. Bij middelmatig tot hoge intensiteit (duur)inspanning vormen de glycogeen voorraden, en met name het spierglycogeen, dus kwantitatief veruit de belangrijkste energiebron. Dit laatste ondanks het feit dat onze glycogeenvoorraden zeer beperkt zijn.
Tijdens langdurige intensieve inspanning zal het prestatievermogen dan ook afnemen wanneer de glycogeenvoorraden opraken[4, 8, 9]. Voor atleten is dit in de praktijk een bekend fenomeen wat vaak in termen als "de man met de hamer tegenkomen", "benen als pap hebben" en "kapot zitten" wordt verwoord. Gezien de beperkte endogene glycogeenvoorraad speelt de hoeveelheid bruikbare koolhydraten dus een kritieke rol bij het vermogen prestaties te leveren tijdens (duur)inspanning van middelmatige tot hoge intensiteit[4]. Om deze reden is het dan ook van groot belang de glycogeenvoorraad vóór inspanning te optimaliseren en het gebruik van deze voorraden tijdens inspanning te minimaliseren. Dit vormt de basis van vele effectieve training- en (sport)voedingsinterventies.

Training

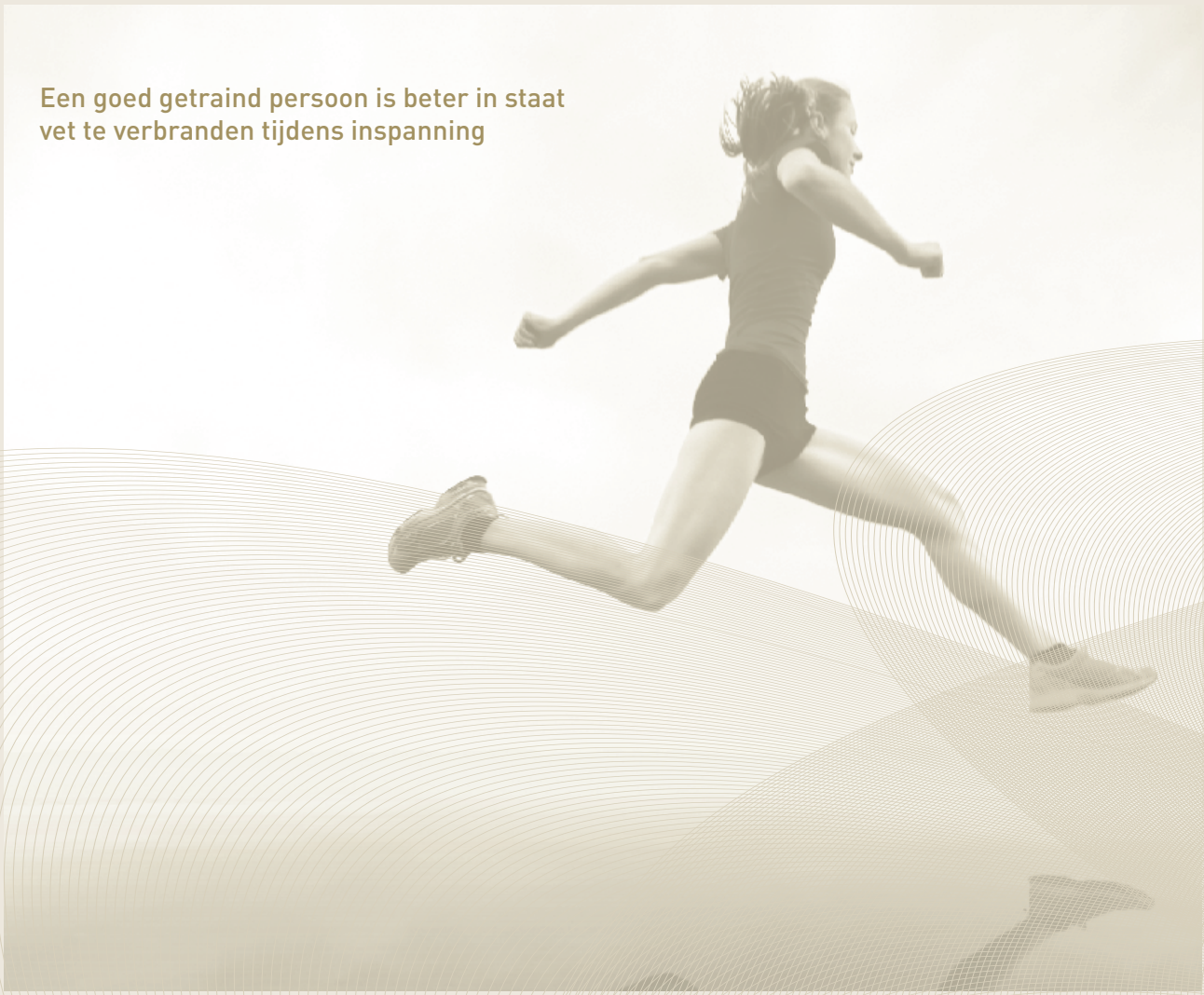
Regelmatige training heeft een aantal belangrijke gevolgen voor ons lichaam. Behalve het verbeteren van de conditie van hart, bloedvaten en longen, leidt training tot verregaande adaptatie van het spierweefsel[12, 13, 29]. Duurtraining verhoogt de grootte en het aantal van de mitochondrieën in onze spieren. Deze verhoogde mitochondriële dichtheid leidt ertoe dat de spieren beter in staat zijn in een bepaalde energiebehoefte te voorzien. Dientengevolge is een goed getraind persoon beter in staat vet te verbranden tijdens inspanning. Sterker nog, we hebben tevens aangetoond[38] dat een getraind persoon meer vet kan verbranden bij zowel eenzelfde absolute als ook relatieve intensiteit inspanning vergeleken met een ongetraind persoon (Figuur 2).

Figuur 2. Effect van training op het brandstofgebruik tijdens duurinspanning



Energiegebruik tijdens inspanning; OT: ongetrainde proefpersonen op 50% van hun maximaal vermogen (148 watt); GT(abs): getrainde wielrenners op dezelfde absolute belasting (148 watt); GT(rel): getrainde wielrenners op dezelfde relatieve belasting (50% maximaal vermogen: 200 watt). Duidelijk te zien is dat de bijdrage van vetverbranding aan het totale energiegebruik hoger ligt bij de getrainde wielrenners, zowel gemeten op dezelfde absolute als ook dezelfde relatieve belasting[38].

Bij eenzelfde absolute als ook relatieve inspanningsbelasting draagt de bijdrage van de vetoxidatie meer toe aan het energiegebruik in getrainde personen, zodat minder gebruik hoeft te worden gemaakt van de beperkte glycogeenvoorraden[38]. Regelmatige training zorgt er derhalve voor dat men gedurende langere tijd een bepaalde inspanningsintensiteit kan handhaven alvorens de glycogeenvoorraad opraakt en de inspanning moet worden gestaakt. Daarnaast leidt regelmatige training ook tot een verhoogde capaciteit om koolhydraten op te slaan; getrainde atleten kunnen namelijk wel tot zo'n 50% meer glycogeen in hun spieren opslaan (350-700 gram). Tevens is aangetoond dat ook de opslag van vetten in de spier, de intramusculaire triglyceriden, sterk verhoogd is in duuratleten[37]. Hiermee neemt het vermogen om deze vetbronnen te mobiliseren verder toe, hetgeen de vetoxidatie tijdens inspanning nog verder kan doen toenemen[34, 37, 39]. Regelmatige training is daarmee één van de meest belangrijke factoren waarmee de vetoxidatiecapaciteit kan worden verhoogd, de beperkte glycogeen voorraden kunnen worden gespaard en het prestatievermogen kan worden verbeterd.



SPORTVOEDING

Sinds de ontdekking van spierglycogeen als zijnde een belangrijke brandstof voor spieractiviteit[4, 5], zijn allerlei interventies ontworpen om de glycogeen beschikbaarheid te optimaliseren. Door regelmatige training kan de beperkte glycogeenvoorraad efficiënter gebruikt worden tijdens inspanning. Maar middels onze voeding kunnen we de koolhydraat beschikbaarheid optimaliseren. Omdat vetten niet omgezet kunnen worden in koolhydraten, is het belangrijk dat we voldoende koolhydraten innemen vóór, tijdens en na intensieve inspanning.

Voeding vóór inspanning

Allereerst is het maximaliseren van de glycogeenvoorraad vóór inspanning een belangrijk doel als voorbereiding op een belangrijke wedstrijd[14, 42]. Om dit te bereiken zijn in de loop van de jaren de nodige voedingsmanipulaties toegepast. De meest succesvolle blijkt het zogenaamde klassieke "supercompensatie dieet". Hierbij wordt 6 dagen vóór een belangrijke wedstrijd middels intensieve training de gehele glycogeenvoorraad verbruikt. De eerste 3 dagen wordt dan koolhydraatarm (oftewel vet/eiwit-rijk) gegeten, waardoor de spier vrijwel geen glycogeen kan synthetiseren, ondanks maximale inzet van de daarvoor benodigde enzymsystemen. Drie dagen voor de wedstrijd wordt dan opnieuw tot uitputting getraind, waarop gedurende 3 dagen een koolhydraatrijke voeding wordt gebruikt (70-80 energie procent koolhydraten) en er niet meer getraind wordt. Deze voedings- en trainingsinterventie resulteert in een zogenaamde supercompensatie van de spierglycogeenvoorraden waarbij een extra toename van 25 tot 45% kan worden bereikt.

vóór inspanning

- Volg een gemodificeerd supercompensatie dieet
- Vermijd vezelrijke producten de dag vóór competitie
- Drink voldoende water, met name bij de voorbereiding voor competitie in een warme omgeving bij een hoge luchtvochtigheid
- Doe allereerst ervaring op met voedingsinterventies alvorens implementatie ervan in de voorbereiding voor competitie

Het nadeel van deze methode is echter de verre van smakelijke voeding die gebruikt moet worden. Ook psychische spanningen en irritaties, als gevolg van onder andere het strikt wel of niet mogen trainen, staan een optimale voorbereiding vaak in de weg. Daarnaast is de kans op blessures door de maximale trainingssessies ook niet denkbeeldig. Met andere woorden, alhoewel wetenschappelijk zeer interessant, biedt het klassieke supercompensatie dieet dus geen praktisch bruikbare methode. Om de nadelige bijwerkingen te vermijden wordt in de praktijk gebruik gemaakt van het zogenaamde gemodificeerd supercompensatie regime[32]. Gedurende een periode van 6 dagen wordt volgens een zogenaamd "tapering-down" regime het trainingsvolume verlaagd, terwijl de inspanningsintensiteit gehandhaafd wordt. In deze periode wordt de koolhydraat inname middels de voeding langzaam verhoogd van 50 tot ongeveer 70-75 energieprocent. Het betreft hier dus het verlagen van de hoeveelheid vet in de voeding en het gebruik van koolhydraatrijke voedingsmiddelen, zoals aardappelen, pasta's, bananen, winegums,

(sport)dranken etc. Een verhoging van het aandeel koolhydraten in de voeding verandert de dagelijkse energie inname dus niet, maar in de praktijk eet men dus qua gewicht aanzienlijk meer. Dat laatste is natuurlijk logisch daar een gram koolhydraten maar half zoveel energie levert vergeleken met een gram vet (zie tabel 1). Dit gemodificeerde regime, waarbij koolhydraatstapelen wordt gecombineerd met tapering, resulteert in vrijwel identieke glycogeen concentraties als bij het klassieke supercompensatie protocol, maar dan zonder eerder genoemde negatieve bijwerkingen. Het volgen van een dergelijk gemodificeerd supercompensatie protocol gedurende 6-7 dagen voor een belangrijke wedstrijd is inmiddels gemeengoed geworden binnen de (duur)sportwereld.

vlak vóór inspanning

Gebruik een kleine, koolhydraatrijke maaltijd >2 uur vóór de start

Neem 6-8 ml/kg lichaamsgewicht sportdrank 5 min. vóór de start of tijdens de warming-up

Dergelijke manipulaties van voeding en training kunnen leiden tot een optimalisatie van de spierglycogeenvoorraden. Dit is natuurlijk van belang bij elke sporttak waar de te verrichten inspanning van middelmatige tot hoge intensiteit is en gedurende langere tijd wordt verricht (>40 min). Kortom bij elke inspanning waar (op termijn) een tekort aan glycogeen verwacht kan worden. Dit is met name van belang bij duursporten zoals wielrennen, marathon, triatlon enzovoorts. De laatste jaren bestaan er echter ook steeds meer aanwijzingen dat ook competitie spelsporten als voetbal, tennis, hockey en dergelijke leiden tot depletie van de glycogeenvoorraden. Het optimaliseren van de glycogeenvoorraden zou dus ook bij deze atleten kunnen leiden tot betere prestaties. Om te zorgen dat ook de leverglycogeenvoorraad vlak voor inspanning optimaal is, wordt geadviseerd om 2-3 uur voor de start van een belangrijke wedstrijd nog een lichte, koolhydraatrijke maaltijd te nuttigen. Het is vanzelfsprekend dat het verstandig is alle soorten voedingsmanipulaties in de praktijk per individu te testen tijdens trainingen alvorens implementatie in het kader van wedstrijdvoorbereiding wordt doorgevoerd.

Voeding tijdens inspanning

Behalve het optimaliseren van de glycogeenvoorraad vóór inspanning, kan tevens getracht worden om tijdens inspanning extra koolhydraten in te nemen om de beperkte endogene voorraden aan te vullen[18]. Onderzoek heeft inmiddels duidelijk aangetoond dat koolhydraatinname tijdens middelmatige tot hoge intensiteit inspanning (over een periode >45 min) het prestatievermogen significant kan verbeteren[9, 10]. Vandaar dat het gebruik van koolhydraatrijke (sport)dranken tijdens inspanning inmiddels niet meer weg te denken is tijdens (duur)sport evenementen. Koolhydraatsuppletie kan een daling in de plasma glucose spiegel voorkomen en een optimale koolhydraatoxidatie garanderen. Om deze reden is natuurlijk veel onderzoek gedaan met de intentie de exogene koolhydraatoxidatie tijdens inspanning te optimaliseren. Bijna alle oplosbare koolhydraten kunnen na inname met eenzelfde snelheid verbrand worden. Dit geldt voor glucose, glucose polymeren, maltose, sucrose en oplosbaar zetmeel. Uitzonderingen zijn fructose en galactose die minder snel verbrand kunnen worden[23, 24, 30, 43].

Naast de soort koolhydraten is natuurlijk ook de hoeveelheid een belangrijk gegeven. Uit een reeks van studies is gebleken dat koolhydraatinname tijdens (duur) inspanning een belangrijke bijdrage levert aan het totale energiegebruik (~25%) en ervoor zorgt dat de endogene glycogeenvoorraden gespaard kunnen worden[9, 10, 18, 38]. Recentelijk onderzoek laat zien dat dit glycogeen sparende effect zich met name afspeelt tijdens de beginfase van de inspanning[33]. Het is daarom belangrijk dat de atleet al bij de start begint met koolhydraat suppletie, en niet wacht tot later in de race. Omdat de endogene glycogeenvoorraden met name in de eerste 30-60 minuten na de start worden gemobiliseerd, is vooral hier veel winst te behalen. Al het glycogeen dat door inname van een sportdrank niet gebruikt hoeft te worden in de eerste fase van inspanning, kan in principe van pas komen tijdens de eindfase van een wedstrijd. Het is natuurlijk logisch dat dit bij een laatste versnelling of eindspurt uiteindelijk het verschil tussen winst en verlies kan betekenen.

tijdens inspanning

- Gebruik een geschikte sportdrank
- Gebruik 6-8 ml/kg lichaamsgewicht vlak vóór de start of tijdens de warming-up
- Gebruik 2-3 ml/kg lichaamsgewicht elke 15-20 min. tijdens inspanning

Toch is het aanbieden van exogene koolhydraten via een sportdrank tijdens inspanning gebonden aan beperkingen. De oxidatiesnelheid van oraal ingenomen koolhydraten lijkt namelijk wel een plafondwaarde te kennen. Exogene glucose oxidatiesnelheden blijken namelijk nooit hoger te liggen dan 1.0-1.1 gram per minuut[11, 18, 43]. Zelfs bij de inname van extreem grote hoeveelheden zal deze snelheid niet verder toenemen. Dit wijst erop dat tijdens inspanning niet meer dan 60-70 gram koolhydraten per uur zouden moeten worden ingenomen. Het betreft hier dus al een maximale hoeveelheid. Bij een minder intensieve inspanning kan deze hoeveelheid dus naar beneden bijgesteld worden. Meer recent onderzoek heeft aangetoond dat de combinatie van verschillende koolhydraatbronnen de maximale exogene koolhydraatoxidatie nog iets verder kan doen toenemen[15, 16, 17]. Dit laatste kan worden verklaard doordat bij de opname van verschillende koolhydraatsoorten (zoals fructose en glucose)

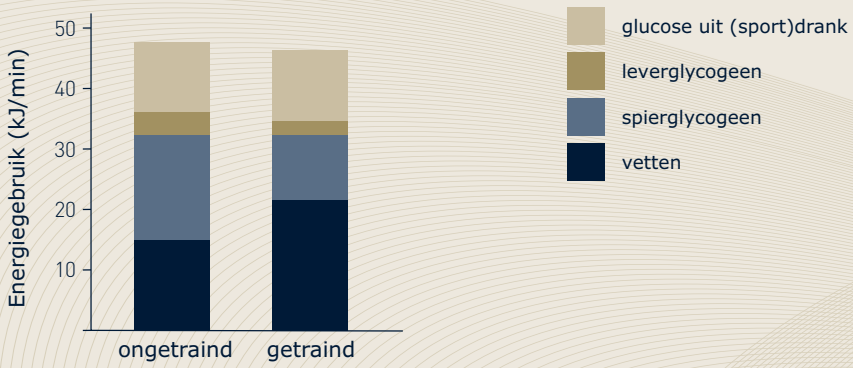
Onderzoek toont aan dat koolhydraatinname tijdens middelmatige tot hoge intensiteit inspanning (over een periode >45 min) het prestatievermogen significant kan verbeteren.

gebruik wordt gemaakt van verschillende transport-systemen waardoor de totale koolhydraat opname en oxidatie boven de 1.0-1.1 gram per minuut uit kan stijgen[15, 16, 17]. Onder deze condities kunnen zeer goed getrainde duuratleten tot wel 90 g koolhydraten per uur (1.2-1.4 g/min) verwerken. Het moge duidelijk zijn dat in dit geval dranken gebruikt moeten worden waarin verschillende koolhydraatsoorten worden gecombineerd[17]. Er lijken overigens geen verschillen te bestaan in de oxidatiesnelheid van de uit een (sport)drank afkomstige koolhydraten tussen inactieve volwassenen en zeer goed getrainde triatleten en wielrenners (Figuur 3). Met andere woorden, zowel de recreatieve sporter als de topatleet kan evenveel baat hebben bij het gebruik van een sportdrank tijdens duurinspanning.

Zowel de recreatieve sporter als de topatleet kunnen evenveel baat hebben bij het gebruik van een sportdrank tijdens duurinspanning.

Behalve koolhydraten is het tevens belangrijk dat het waterverlies tijdens inspanning wordt gecompenseerd. Om deze reden worden koolhydraten tijdens inspanning vaak ingenomen in de vorm van (sport)dranken.

Figuur 3. Bijdrage van (sport)drank aan het energiegebruik tijdens inspanning



Energiegebruik tijdens inspanning, relatieve bijdrage van vet, spierglycogeen, leverglycogeen en glucose uit een (sport)drank tijdens inspanning van middelmatige intensiteit in getrainde en ongetrainde personen. Duidelijk is dat de verbranding van oraal ingenomen koolhydraten (in dit geval via een (sport)drank) een belangrijke bijdrage (±25%) kan leveren aan het totale energiegebruik. Tevens is zichtbaar dat de verbranding van de oraal ingenomen koolhydraten in tegenstelling tot de endogene glycogeenvoorraden onafhankelijk is van de training status[38].

Om een optimale aanvoer van exogene koolhydraten en water te realiseren is het belangrijk dat een goede sportdrank wordt gebruikt. Een goede sportdrank voor gebruik tijdens inspanning moet aan een aantal voorwaarden voldoen. Gezien de maximale oxidatiesnelheid van exogene koolhydraten tijdens inspanning, zou een ideale sportdrank een koolhydraatgehalte moeten bevatten waarmee een totale inname van 60-90 gram koolhydraten per uur goed te realiseren is. Het koolhydraatgehalte mag echter niet te hoog (>18%) zijn en de drank mag tevens niet een te hoge osmolaliteit (>400 mosmol per kg) hebben, omdat dit de maaglediging vertraagt en kan leiden tot maag- en darmklachten.

Waaraan moet een **goede sportdrank** voldoen?

- 6-8% koolhydraat oplossing
- glucose en maltodextrines als primaire koolhydraatbron
- toevoeging fructose en/of sacharose
- osmolaliteit <400 mOsmol/kg
- iso- tot hypotoon
- natriumgehalte 200-1200 mg/L
- goed smaken

Natuurlijk heeft een goede sportdrank tijdens inspanning ook de functie de vochtbalans zo goed mogelijk te handhaven. Een vochtverlies van ~2% van het lichaamsgewicht (1.4 liter in een man van 70 kg) kan het prestatievermogen al significant schaden[25, 31]. Of het gebruik van een sportdrank het zweetverlies effectief kan compenseren is afhankelijk van een aantal factoren, waarbij met name het koolhydraatgehalte, het natriumgehalte en de osmolaliteit van de drank van groot belang zijn. De ideale sportdrank is iso- tot hypotoon en heeft een natriumgehalte van circa 200-1200 mg/liter. Een volledige compensatie van het zweetverlies is soms niet mogelijk, aangezien zweetverliezen van meer dan 2 liter per uur mogelijk zijn. Inname van dergelijke hoeveelheden water tijdens inspanning is meer dan het maag-darmstelsel kan verdragen. In de praktijk wordt de hoeveelheid ingenomen drank meestal bepaald door de hoeveelheid sportdrank die goed verdragen wordt. Het is daarom van groot belang dat het (voldoende) drinken tijdens inspanning actief wordt getraind. Hierin valt een belangrijk trainingseffect te behalen. Inname van grotere hoeveelheden (sport)drank leidt tot maagwand uitzetting, hetgeen de maaglediging meer versnelt dan de inname van kleinere hoeveelheden drank. Het advies is daarom om vlak voor de start van een training/wedstrijd te beginnen met het drinken van 6-8 ml sportdrank per kg lichaamsgewicht om de maag te vullen en vervolgens over te stappen op kleinere hoeveelheden (2-3 ml per kg lichaamsgewicht) elke 15-20 minuten.

Sommige atleten kunnen een reactieve, inspanningsgeïnduceerde, hypoglycemie ontwikkelen wanneer ze vlak voor de inspanning een koolhydraatrijke (sport)drank innemen. De stijgende insuline concentratie kan in combinatie met de verhoogde glucose oxidatie (als gevolg van de inspanning) soms leiden tot een (te) sterke daling van de bloedglucose concentratie die optreedt binnen 15 minuten na de start van de inspanning. Atleten die hier gevoelig voor blijken te zijn wordt geadviseerd te wachten met koolhydraatinname tot (tijdens) de warming-up of tot (minder dan) 5 minuten voor de start. Het optreden van een reactieve hypoglycemie wordt op deze wijze meestal voorkomen.

Om zweetverlies tijdens inspanning zoveel mogelijk te compenseren is het belangrijk om goed inzicht te krijgen in de omvang van het vochtverlies. Dit wordt vaak als een groot probleem gezien, daar het zweetverlies sterk afhankelijk is van factoren als de temperatuur, vochtigheidsgraad van de lucht en de mate van acclimatisatie. Toch kan het te verwachten zweetverlies in de praktijk redelijk nauwkeurig geschat worden, met een kleine correctie voor de verbranding van lichaamsvet en koolhydraten (±100-200 g per uur). Door het lichaamsgewicht vóór en na trainingen en wedstrijden te meten krijgt men een goede indruk van het individuele zweetverlies onder verschillende (klimatologische) omstandigheden en kan de sportdranksamenstelling en inname hierop aangepast worden[25, 31]. Bij warm weer met een lage luchtvochtigheid zal meer gedronken moeten worden van een sportdrank met een relatief laag koolhydraatgehalte. Gedurende koude omstandigheden (zoals meestal in ons land) zullen kleinere hoeveelheden van een meer geconcentreerde oplossing gebruikt moeten worden. Maar de aanbevolen grenzen voor koolhydraatconcentratie en osmolaliteit (<400 mosmol per kg) moeten echter niet overschreden worden. Samenvattend dient een goede sportdrank een optimale aanvoer van koolhydraten te bewerkstelligen om de bloedglucose concentratie op peil te houden en een adequate koolhydraatverbranding te kunnen handhaven. Daarnaast moet een goede sportdrank voldoende water en elektrolyten aanvoeren om het zweetverlies zo volledig mogelijk te compenseren. Om het gebruik van een sportdrank te stimuleren en de aanvoer van zowel water als koolhydraten te optimaliseren dient een sportdrank goed te smaken en geen aanleiding te geven tot het ontstaan van maag- en darmklachten. Overigens moet het belang van de smaak niet onderschat worden, daar een goede smaak (sport)drank gebruik stimuleert. Bovendien kan een ongewenste smaak en geur de snelheid van de maaglediging negatief beïnvloeden. Binnen de gestelde grenzen is de keuze van een ideale sportdrank voor het gebruik tijdens inspanning dus afhankelijk van de atleet, de duur en de intensiteit van de inspanning en de klimatologische omstandigheden waaronder de inspanning moet worden geleverd.

Voeding na inspanning

Een juiste keuze van voeding na intensieve inspanning heeft als belangrijkste doel het herstel te bespoedigen en daarmee het prestatievermogen op peil te houden[2]. Uit het voorgaande moge duidelijk zijn dat het herstel van de geledigde glycogeen voorraden hierbij een belangrijke, tijdsbepalende factor vormt. Wanneer we een normale voeding gebruiken zullen geledigde glycogeenvoorraden binnen 24 uur grotendeels weer aangevuld zijn[7]. Voor sommige atleten is dit echter niet voldoende, omdat zij ruim binnen die tijdslijn opnieuw dienen te presteren. Hierbij kun je denken aan wielrenners in de Tour de France, of bijvoorbeeld atleten die tweemaal per dag intensief moeten trainen. In dergelijke gevallen kunnen koolhydraatrijke hersteldranken een praktische oplossing bieden. De glycogeen synthesesnelheid

na inspanning wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid ingenomen koolhydraten, de soort koolhydraten die hiervoor gebruikt worden, en het tijdstip waarop deze koolhydraten ingenomen worden. Alhoewel in het verleden werd geopperd dat de inname van 0.75 gram koolhydraten per kg lichaamsgewicht per uur meer dan voldoende zou zijn om een maximale glycogeen synthese te realiseren[14], laten meer recente studies[42] zien dat een ruimere hoeveelheid en meer frequente dosering tot betere resultaten leidt (tot een inname van 1.0-1.2 gram koolhydraten per kg lichaamsgewicht per uur). De gebruikte koolhydraatbronnen moeten gemakkelijk verteerbaar en goed opneembaar zijn, waarvoor voedings-middelen met een gemiddeld tot hoge glycemische index worden aangeraden. Omdat de eerste uren na inspanning de glycogeen synthese sneller verloopt, is het van belang om zo snel mogelijk na de inspanning te beginnen met koolhydraatinname. Hierbij geven atleten meestal de voorkeur aan (koolhydraatrijke) hersteldranken boven een vaste voeding. In pogingen de glycogeen synthese verder te versnellen zijn studies uitgevoerd waarin zowel het type koolhydraten en de vorm (vast, vloeibaar, intraveneus) waarin ze werden ingenomen werd gevarieerd. Deze interventies bleken echter niet te leiden tot een verdere toename van de glycogeen-synthese snelheid[14, 19]. Er zijn echter wel duidelijke aanwijzingen dat het toevoegen van een kleine hoeveelheid eiwit aan een koolhydraatrijke hersteldrank (0.3-0.4 gram per kg lichaamsgewicht per uur) de glycogeensynthese kan versnellen[42, 44]. Mogelijke verklaring hiervoor is een sterkere stijging van de insuline secretie na inname van een mengsel van koolhydraten en eiwitten. Deze verhoogde insuline respons zou leiden tot een sterkere toename van de activiteit van het enzym glycogeen synthase, welke de snelheidsbeperkende stap binnen het glycogeen-synthese proces katalyseert. Het toevoegen van een kleine hoeveelheid eiwit aan een koolhydraatrijke hersteldrank is met name interessant wanneer er onvoldoende tijd is om optimale hoeveelheden koolhydraten in te nemen. Op deze wijze kunnen meer van de ingenomen koolhydraten als spierglycogeen opgeslagen worden[2, 3].

Waaraan moet een **goede hersteldrank** voldoen?

- 6-18% koolhydraatoplossing
- glucose en maltodextrines als primaire koolhydraatbron
- 2-6% eiwit of eiwithydrolysaat
- natriumgehalte 600-1200 mg/L
- goed smaken

Een goede herstelvoeding dient dus te voorzien in een ruime hoeveelheid koolhydraten. Omdat na inspanning ook gestreefd moet worden naar herstel van de vochtbalans ligt het gebruik van een hersteldrank voor de hand. In de herstelfase na inspanning liggen er minder restricties ten aanzien van het kool-hydraatgehalte van een ideale hersteldrank. Hersteldranken bevatten dan ook vaak substantieel meer koolhydraten dan de gemiddelde sportdrank. Om de vochtbalans na inspanning te herstellen dient overigens meer (150-200%) gedronken te worden dan het geschatte netto zweetverlies. De reden hiervoor is dat niet al het ingenomen water kan worden vastgehouden in het lichaam. Van dranken met een laag natriumgehalte (bijvoorbeeld: kraanwater, mineraal-water, sappen) wordt slechts circa 50% vastgehouden. Men kan dit verlies

enigszins beperken door het natriumgehalte te verhogen tot circa 600-1200 mg per liter. De vochtretentie kan hierdoor oplopen tot 70-80%. Om deze reden bevatten veel hersteldranken dan ook relatief meer natrium. Wanneer het zweetverlies aanzienlijk is gebruiken veel sporters naast een hersteldrank aanvullend water en/of de meer generieke sportdranken.

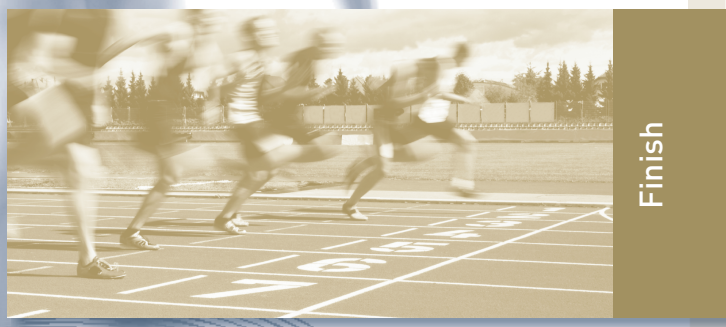
De afgelopen jaren is er steeds meer aandacht gekomen voor de mogelijke voordelen van eiwit in sportvoeding, in het bijzonder bij de herstelvoeding. Dit is het gevolg van een aantal interessante wetenschappelijke bevindingen en nieuwe toepassingen. Met de observatie dat de timing van eiwit inname een belangrijke rol speelt bij het herstel na inspanning, is de rol van eiwit in de herstelvoeding een feit geworden. Inspanning leidt tot een toename van de snelheid van de spiereiwit degradatie als ook de spiereiwit synthese[6, 26]. De netto balans tussen synthese en degradatie blijft echter negatief in de periode na intensieve inspanning zolang er geen voeding wordt gebruikt. De inname van koolhydraten na intensieve inspanning remt de eiwit degradatie, maar desondanks blijft de netto eiwitbalans negatief[28]. Wanneer eiwitten worden ingenomen wordt de spiereiwit synthese gestimuleerd en de degradatie geremd[27, 35]. Dit leidt tot een positieve netto spiereiwit balans na inspanning, hetgeen impliceert dat spierschade door training als ook de biochemische en structurele aanpassing aan de training (het re-conditioneren van de spieren) optimaal kunnen verlopen. Ondanks het feit dat dergelijke voedings-gewoonten in de krachtsport en bodybuilding reeds lange tijd gemeengoed zijn, is het combineren van koolhydraten en eiwit in herstelvoeding voor gebruik na (duur)inspanning blijkbaar nog minder vanzelfsprekend. Niettemin zijn er voldoende aanwijzingen dat de gecombineerde inname van koolhydraat houdende dranken met eiwit een negatieve eiwitbalans tijdens en na langdurige intensieve duurinspanning kan voorkomen[21, 22]. Overigens speelt de co-ingestie van koolhydraten maar een betrekkelijk beperkte rol in het verbeteren van de spiereiwitbalans. Recent onderzoek laat zelfs zien dat wanneer voldoende eiwit wordt ingenomen, koolhydraat inname geen meerwaarde heeft op de spiereiwit synthese[20]. Dus wanneer de sporter niet geïnteresseerd is in het herstellen van de glycogeenvoorraden en mogelijk de energie inname wil beperken, is het gebruik van een eiwitdrank zonder (veel) koolhydraten al voldoende. Natuurlijk is dit met name relevant voor hen die vooral om esthetische en/of gezondheidsredenen sporten. Opmerkelijk is de observatie dat de timing van de eiwit inname na inspanning van groot belang lijkt te zijn[1]. Aandacht voor de rol van eiwit in het herstel na intensieve inspanning is met name relevant om een optimale adaptieve response op elke trainingssessie mogelijk te maken. Het is dan ook niet vreemd dat veel sportvoedingsonderzoek zich momenteel richt op de rol die voeding zou kunnen spelen in het optimaliseren van de adaptieve respons na kracht- en duurinspanning. Op dit vlak worden momenteel vele interessante bevindingen gedaan.

na inspanning

- Gebruik koolhydraatrijke hersteldranken, met name wanneer er binnen 24 uur weer een nieuwe prestatie geleverd moeten worden
- Start met het nemen van een hersteldrank onmiddellijk na inspanning
- Koolhydraatinname tussen 1.0-1.5 g/kg lichaamsgewicht per uur
- Gebruik extra water indien nodig

TOT SLOT

Naast regelmatige training is voeding één van de belangrijkste factoren waarmee we invloed kunnen uitoefenen op het brandstofgebruik van onze spieren tijdens inspanning en daarmee ook op ons prestatievermogen. Een gebalanceerde voeding, aangepast aan de specifieke eisen die training en competitie vragen van de individuele sporter, kan het prestatievermogen dan ook zeker verbeteren. Een goede keuze van de voeding (met inbegrip van gebruik van (sport)dranken tijdens duurinspanning) garandeert geen topprestaties maar niettemin zal zonder een goede voeding een optimaal functioneren van onze menselijke motor onmogelijk blijken.



Colofon

Correspondentie

Prof.dr. L.J.C. van Loon
Hoogleraar Fysiologie van Inspanning
Capaciteitsgroep Bewegingswetenschappen
Universiteit Maastricht
Postbus 616
6200 MD Maastricht

Tel: +31 (0)43 388 13 97
Fax: +31 (0)43 367 09 76
E-mail: L.vanLoon@maastrichtuniversity.nl

Kenniscentrum suiker en voeding
Amsterdamsestraatweg 39A
3744 MA Baarn

Tel: +31 (0)35 543 34 55
E-mail: info@kenniscentrumsuiker.nl
Website: www.kenniscentrumsuiker.nl

Eerste druk: november 2008
Eerste herziene versie (Engels, online publicatie): mei 2012
Tweede herziene versie (drukwerk en online publicatie): februari 2013

Ontwerp, productie en online publicatie:
oggi communicatie (www.oggi.nl)

REFERENTIES

1. Beelen M, Koopman R, Gijsen AP, Vandereyt H, Kies AK, Kuipers H, Saris WH, and van Loon LJ. Protein coingestion stimulates muscle protein synthesis during resistance-type exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab 295: E70-77, 2008.

2. Beelen M, Burke L, Gibala M, and van Loon LJ. Nutritional strategies to promote postexercise recovery. Int J Sports Nutr Exerc Metab 20: 515-32, 2010.

3. Beelen M, van Kranenburg J, Senden JM, Kuipers H, and van Loon LJ. Impact of caffeine and protein on postexercise muscle glycogen synthesis. Med Sci Sports Exerc 44: 692–700, 2012

4. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, and Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. Acta Physiol Scand 71: 140-150, 1967.

5. Bergstrom J, and Hultman E. A study of the glycogen metabolism during exercise in man. Scand J Clin Lab Invest 19: 218-228, 1967.

6. Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, and Wolfe RR. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. Am J Physiol 268: E514-520, 1995.

7. Burke LM, Collier GR, and Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. J Appl Physiol 75: 1019-1023, 1993.

8. Costill DL. Carbohydrate nutrition before, during, and after exercise. Fed Proc 44: 364-368, 1985.

9. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, and Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. J Appl Physiol 61: 165-172, 1986.

10. Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, and Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. J Appl Physiol 55: 230-235, 1983.

11. Hawley JA, Dennis SC, and Noakes TD. Oxidation of carbohydrate ingested during prolonged endurance exercise. Sports Med 14: 27-42, 1992.

12. Henriksson J. Training induced adaptation of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. J Physiol 270: 661-675, 1977.

13. Holloszy JO, and Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. J Appl Physiol 56: 831-838, 1984.

14. Ivy JL. Muscle glycogen synthesis before and after exercise. Sports Med 11: 6-19, 1991.

15. Jentjens RL, and Jeukendrup AE. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. Br J Nutr 93: 485-492, 2005.

16. Jentjens RL, Shaw C, Birtles T, Waring RH, Harding LK, and Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of glucose and sucrose during exercise. Metabolism 54: 610-618, 2005.

17. Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: The role of multiple transportable carbohydrates. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 13: 452-7, 2010.

18. Jeukendrup AE, and Jentjens R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. Sports Med 29: 407-424, 2000.

19. Keizer HA, Kuipers H, van Kranenburg G, and Geurten P. Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. Int J Sports Med 8: 99-104, 1987.

20. Koopman R, Beelen M, Stellingwerff T, Pennings B, Saris WH, Kies AK, Kuipers H, and van Loon LJ. Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis. Am J Physiol Endocrinol Metab 293: E833-842, 2007.

21. Koopman R, Pannemans DL, Jeukendrup AE, Gijsen AP, Senden JM, Halliday D, Saris WH, van Loon LJ, and Wagenmakers AJ. Combined ingestion of protein and carbohydrate improves protein balance during ultra-endurance exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab 287: E712-720, 2004.

22. Koopman R, Saris WH, Wagenmakers AJ, and van Loon LJ. Nutritional interventions to promote post-exercise muscle protein synthesis. Sports Med 37: 895-906, 2007.

23. Massicotte D, Peronnet F, Allah C, Hillaire Marcel C, Ledoux M, and Brisson G. Metabolic response to [13C]glucose and [13C]fructose ingestion during exercise. J Appl Physiol 61: 1180-1184, 1986.

24. Massicotte D, Peronnet F, Brisson G, Bakkouch K, and Hillaire Marcel C. Oxidation of a glucose polymer during exercise: comparison with glucose and fructose. J Appl Physiol 66: 179-183, 1989.

25. Maughan RJ, Watson P, and Shirreffs SM. Heat and cold : what does the environment do to the marathon runner? Sports Med 37: 396-399, 2007.

26. Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, and Wolfe RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. Am J Physiol 273: E99-107, 1997.

27. Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE, and Wolfe RR. An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. J Appl Physiol 88: 386-392, 2000.

28. Roy BD, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Fowles J, and Yarasheski KE. Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. J Appl Physiol 82: 1882-1888, 1997.

29. Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essen B, and Gollnick D. The nature of the training response; peripheral and central adaptations of one-legged exercise. Acta Physiol Scand 96: 289-305, 1976.

30. Saris WH, Goodpaster BH, Jeukendrup AE, Brouns F, Halliday D, and Wagenmakers AJ. Exogenous carbohydrate oxidation from different carbohydrate sources during exercise. J Appl Physiol 75: 2168-2172, 1993.

31. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, and Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc 39: 377-390, 2007.

32. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, and Miller JM. Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. Int J Sports Med 2: 114-118, 1981.

33. Stellingwerff T, Boon H, Gijsen AP, Stegen JH, Kuipers H, and van Loon LJ. Carbohydrate supplementation during prolonged cycling exercise spares muscle glycogen but does not affect intramyocellular lipid use. Pflugers Arch 454: 635-647, 2007.

34. Stellingwerff T, Boon H, Jonkers RA, Senden JM, Spriet LL, Koopman R, and van Loon LJ. Significant intramyocellular lipid use during prolonged cycling in endurance-trained males as assessed by three different methodologies. Am J Physiol Endocrinol Metab 292: E1715-1723, 2007.

35. Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D, Jr., and Wolfe RR. Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. Am J Physiol 276: E628-634, 1999.

36. Van der Vusse GJ, and Reneman RS. Lipid metabolism in muscle. In: Handbook of Physiology, section 12: Exercise: Regulation and integration of multiple systems, edited by Rowell LB, and Sheperd JT. New York: American Physiological Society, Oxford Press, 1996, p. 952-994.

37. Van Loon LJ. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. J Appl Physiol 97: 1170-1187, 2004.

38. Van Loon LJ, Jeukendrup AE, Saris WH, and Wagenmakers AJ. Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. J Appl Physiol 87: 1413-1420, 1999.

39. Van Loon LJ, Koopman R, Stegen JH, Wagenmakers AJ, Keizer HA, and Saris WH. Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state. J Physiol 553: 611-625, 2003.

40. Van Loon LJC. The effects of exercise and nutrition on muscle fuel selection. Maastricht: Universitaire Pers Maastricht, 2001.

41. Van Loon LJC, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WHM, and Wagenmakers AJM. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. J Physiol 536.1: 295-304, 2001.

42. Van Loon LJC, Saris WHM, Kruijshoop M, and Wagenmakers AJM. Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid/protein hydrolyzate mixtures. Am J Clin Nutr 72: 2000.

43. Wagenmakers AJ, Brouns F, Saris WH, and Halliday D. Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. J Appl Physiol 75: 2774-2780, 1993.

44. Zawadzki KM, Yaspelkis BBd, and Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. J Appl Physiol 72: 1854-1859, 1992.

De menselijke motor

Deze publicatie geeft inzicht in het spiermetabolisme: van de noodzaak van voeding tot de opslag van brandstofvoorraden in het lichaam en het gebruik van deze energie bronnen tijdens inspanning. Het legt hiermee de wetenschappelijke basis voor het gebruik van specifieke (sport)voeding bij duurinspanning. Het betreft een basaal verhaal waarin wetenschappelijke diepgang met opzet is vermeden om de leesbaarheid te garanderen en sommige praktische zaken duidelijk op de voorgrond te laten treden. Het geheel wordt vergezeld van tips voor het verstandig gebruik van sportvoeding vóór, tijdens, en na intensieve fysieke inspanning.

Prof.dr. L.J.C. van Loon
Hoogleraar Fysiologie van Inspanning
Capaciteitsgroep Bewegingswetenschappen
Universiteit Maastricht