

Dr. Margriet S. Westerterp-Plantenga
Capaciteitsgroep Humane Biologie
Universiteit Maastricht

In de Westerse wereld neemt het aantal gevallen van overgewicht toe. Gezien de omvang van de persoonlijke en maatschappelijke problemen die deze situatie met zich meebrengt, moeten gewichtsproblemen worden beschouwd als één van de meest prioritair aan te pakken voedingsproblemen. Gewichtscontrole is een zaak van een goede balans tussen de energie-inname en het energiegebruik. De voedsel- of energie-inname worden onder meer geregeld door 2 processen: honger en verzadiging. Een beter inzicht in hoe beide processen functioneren en welke factoren hierop van invloed zijn, kan mogelijk bijdragen tot een "lichtere" Westerse wereld.



We eten op geregelde tijdstippen. Terwijl de voedsel- of energie-inname discontinu is, wordt de ingenomen energie op een continue basis gemetaboliseerd (energiegebruik). De fysiologische afstemming van de energie-inname op het energiegebruik wordt geregeld door middel van honger en verzadiging. Wanneer de energie-inname is afgestemd op het energiegebruik is men in energiebalans en blijft het lichaamsgewicht constant.

De energiebalans

Het totale energiegebruik bestaat uit 3 deelaspecten (13,14,15):

- i. het energiegebruik voor het onderhoud van het lichaam (het basaal metabolisme; 50-70 % van het totale energiegebruik);
- ii. het energiegebruik voor de voedselverteringsprocessen (het dieetgeïnduceerde energiemetabolisme; 10-15 % van het totale energiegebruik);
- iii. het energiegebruik voor de lichamelijke activiteit (het activiteitsgeïnduceerde energiemetabolisme; 15-50 % van het totale energiegebruik).

De benodigde energie wordt verschaft via voedsel. Voedselinname gaat dus vrijwel altijd samen met energie-inname, behalve wanneer men producten consumeert die geen energie bevatten, zoals water, vezels of een vetvervanger zoals sucrose-polyester (Olestra). Wanneer de energie-inname is afgestemd op het energiegebruik is men in energiebalans, wat weerspiegeld wordt in een constant lichaamsgewicht. Men geraakt in een negatieve energiebalans wanneer de energie-inname kleiner is dan het energiegebruik: de reserves nemen af en men vermagert. Wanneer de energie-inname groter is dan het energiegebruik is de energiebalans positief: de reserves nemen toe en men komt aan in gewicht (2,5,12,13,14,15).

Om het lichaamsgewicht in relatie tot de lengte te kunnen beoordelen, berekent men de Quetelet Index of Body Mass Index (BMI: gewicht (kg) / lengte² (m²)). Het verkregen getal ligt bij een normaal lichaamsgewicht tussen 20 en 25. We spreken van overgewicht wanneer de BMI tussen 25 en 30 ligt, van obesitas bij een BMI tussen 30 en 35 en van morbide obesitas bij een BMI hoger dan 35 (8). Bij evaluatie van het BMI-resultaat dient echter

ook rekening te worden gehouden met de lichaamssamenstelling van het individu, namelijk met de hoeveelheid vetmassa en vetvrije massa (4). Dit is relevant wanneer men bedenkt dat intensieve sporters, bijvoorbeeld professionele zwaargewichtroeiërs, een BMI kunnen hebben die hoger is dan 25. Hun lichaamsgewicht bestaat echter vooral uit vetvrije massa. Bij hen is dan uiteraard geen sprake van overgewicht.

Honger en verzadiging

De energiebehoefte wordt bepaald door het energiegebruik. Een eenvoudige formule om de energiebehoefte vast te stellen is de volgende: het basaal metabolisme (BMR of Basal Metabolic Rate) vermenigvuldigd met het fysieke activiteitsniveau (PAL of Physical Activity Level) (Energiebehoefte = BMR x PAL) (15).

Hoewel er geen duidelijke korte termijnafstemming is van de energie-inname op de energiebehoefte, voldoet de energie-inname in het algemeen aan de energiebehoefte. De voedsel- of energie-inname wordt fysiologisch geïnduceerd door honger en periodiek beëindigd door verzadiging (5). De mate van honger en verzadiging wordt waargenomen door neuronen in de hersenen, in het bijzonder in de hypothalamus. Zij ontvangen verzadigingssignalen vanuit het maag-darmkanaal en de lever en kunnen op basis hiervan het eetgedrag sturen (5,9).

Er zijn twee systemen in de hersenen bekend die door middel van neurotransmitters de waarneming van honger beïnvloeden. Het serotonerge systeem beïnvloedt de hongerwaarneming zonder dat de aangenaamheid van de smaak wordt beïnvloed (1). Het opioïd beloningssysteem beïnvloedt de waarneming van de hedonistische aspecten van het voedsel (7). Uit farmacologische studies blijkt dat een opioïd antagonist zoals naltrexon de eetlust voor lekker voedsel vermindert, terwijl een serotonerg middel de honger vermindert, maar verder niet selectief is (1,7). De behandeling van depressies met antidepressiva, vooral wanneer selectieve serotonine re-uptake inhibitors (SSRI's) worden gebruikt, hebben vaak als bijverschijnsel een toename van het lichaamsgewicht als gevolg van een grotere eetlust. Dit kan echter zeer verschillend zijn en hangt af van de gevoeligheid hiervoor van de patiënt.

Een cascade van verschillende signalen draagt bij tot het verzadigingsgevoel.

- i. Signalen zoals smaak, geur, textuur, aanblik van voedsel (sensorische verzadiging) (9).

Sensorisch-specifieke verzadiging betekent dat men verzadigd is van het voedsel dat men zojuist heeft gegeten. Via neuronen in de orbitofrontale cortex die geur, aanblik, smaak en honger integreren wordt aangegeven dat de acceptatie voor dat specifieke voedsel is verlaagd, maar dat men nog wel iets anders kan eten. Dit fenomeen verklaart dat verandering van spijs doet eten (9).

- ii. Signalen uit het maag-darmkanaal tijdens de vertering van voedsel (postprandiale verzadiging) (5,12).

Dit betreft in eerste instantie een verzadigingsgevoel ten gevolge van het uitzetten van de maag; signalen van de rekreceptoren in de maagwand worden aan de hersenen doorgegeven. In tweede instantie speelt het hormoon cholecystokinine een rol. Cholecystokinine wordt afgescheiden wanneer vet in contact komt met het bovenste deel van de dunne darm (5,6,10).

- iii. Stofwisselingssignalen uit de lever tijdens de metabole verwerking van voedsel (postabsorptieve verzadiging) (3,5,12).

Het is vooral de vetzuuroxidatie in de lever die hier bepalend is (3). Wanneer de vetzuuroxidatie wordt gestimuleerd, bijvoorbeeld door middel van een lipideninfusie, neemt de voedselinname af (3). Wordt de vetoxidatie geremd, bijvoorbeeld door middel van etomoxir, dan wordt de voedselinname gestimuleerd (3).

- iv. Verzadiging in nuchtere toestand.

Los van de verzadigingscascade kan het verzadigingsniveau 's ochtends in nuchtere toestand verschillend zijn. Dit blijkt samen te hangen met het leptineniveau in het bloedplasma (26). Leptine is een hormoon dat wordt afgescheiden door het vetweefsel. Bij knaagdieren en primaten beïnvloedt het door middel van centrale regulatie zowel de energie-inname als het energiegebruik (26). Bij mensen is vastgesteld dat het verzadigingsgevoel in nuchtere toestand toeneemt en de honger afneemt ten gevolge van een verhoging van het leptineniveau door toediening van leptine (26).

Daarnaast kent de voedselinname echter ook verschillende cognitieve invloeden, zoals de gelegenheid (bv. het voedselaanbod, het tijdstip van de dag, het gezelschap, de uitdaging), tradities, ideologische motieven (bv. bewust lijngedrag, bewust gezondheidsbevorderend gedrag), religieuze en politieke motieven. Wanneer de

politieke hongerstaker bijvoorbeeld niet eet, wordt het mechanisme van honger en verzadiging ontkend. Idem in het geval van de boulimiapatiënt die toegeeft aan ernstige eetbuien (5).

Bij ratten is de voedselinname regulatie grotendeels fysiologisch (11). Bij de mens wordt dit gemiddeld voor ongeveer 50 % fysiologisch bepaald en voor ongeveer 50 % cognitief. Bovendien kan de energie-inname bij de mens op twee manieren worden beïnvloed: enerzijds door de maaltijdgrootte en anderzijds door de maaltijdfrequentie. De tijd tussen twee maaltijden wordt aangeduid met de term "maaltijdinterval" (5).

De fysiologische regulatie van de energie-inname bij de mens is het sterkst bij jonge mannen, vervolgens bij respectievelijk oudere mannen en jonge vrouwen en het minst sterk bij oudere vrouwen. De kans op overgewicht neemt toe met de leeftijd omdat de energiebehoefte en in het bijzonder het basaal metabolisme vermindert door afname van de vetvrije massa (14). Hoogbejaarden kunnen het echter ook moeilijk krijgen om hun gewicht te handhaven, met name wanneer zij ten gevolge van ziekte gewicht hebben verloren (14). Dankzij het feit dat hun voedselinname in het algemeen wat meer is ingesteld op gewoontevorming kunnen de meesten hun lichaamsgewicht desondanks toch enigszins op peil houden (5,14).

Indien de voedsel- of energie-inname volledig fysiologisch zou zijn gereguleerd, dan zou de binnenkomende energie door het lichaam fysiologisch meetbaar zijn en worden vergeleken met de energiebehoefte. Dit zou resulteren in adequate verzadigingssignalen op het juiste moment. De fysiologie van het verzadigingssysteem is echter wat minder fysisch en meer biologisch. Dit betekent dat het verzadigingssysteem meer evolutionair is bepaald, namelijk gericht op de aanleg van reserves in de vorm van onderhuids vet, bijvoorbeeld voor tijden van hongersnood.

Macronutriënten en verzadiging

De macronutriënten hebben een verschillend effect op het verzadigingsgevoel. Eiwitten zijn meer verzadigend dan koolhydraten die op hun beurt meer verzadigend zijn dan vetten. Deze effecten worden onderbouwd door de prioriteit in de stofwisseling: eerst worden eiwitten gemetaboliseerd, dan koolhydraten en ten slotte vetten. Een voeding rijk aan eiwitten en koolhydraten geeft aanleiding tot een hoger thermogeen effect dan een vetrijke voeding.

Vetten worden dus als het minst verzadigend ervaren (19). Vetten veroorzaken daarentegen wel een twee keer zo lang maaltijdinterval in vergelijking met koolhydraten (6). Met andere woorden, de vraag naar een maaltijd zou twee maal later gebeuren na een vetrijke maaltijd dan na een koolhydraatrijke maaltijd. Dit is echter geen argument om te stellen dat een maaltijd vetrijk moet zijn om een gevoel van verzadiging te geven waardoor men in totaal tijdens de dag minder (energie) zou eten. Men mag immers niet uit het oog verliezen dat de energie-inname tijdens een maaltijd sowieso hoger is naarmate het percentage vetten in een maaltijd groter is. Vetten hebben een twee keer zo grote energiedichtheid dan koolhydraten en eiwitten en veroorzaken daardoor, in de vorm van passieve consumptie, ongemerkt een hogere energie-inname. Tijdens een maaltijd is men bovendien eerder geneigd een bepaald gewicht aan voedsel te nuttigen dan een bepaalde hoeveelheid energie. De voedselinname wordt ook beïnvloed door de smaak en de textuur van voedingsmiddelen. Vetten staan erom bekend smakelijker te zijn aangezien ze voedingsmiddelen een aangename, romige textuur geven (9). Chocolade is hiervan het beste voorbeeld: het voedsel met de algemeen geaccepteerde hoogste hedonistische eigenschappen, in termen van een combinatie van smaak en textuur. Ook op die manier dragen vetten gemakkelijk bij tot een grotere inname van voedingsmiddelen en bijgevolg ook tot een grotere totale energie-inname.

Andere factoren van invloed op verzadiging

De energiedichtheid van een maaltijd kan een belangrijk effect hebben op de uiteindelijke energie-inname (zie het bovenstaande voorbeeld van verhoging van de energiedichtheid door middel van vet in de voeding). Enige correctie hierop vindt plaats via de portiegrootte. Van energierijke producten, zoals pralines en cake, worden in het algemeen kleinere porties genuttigd dan van energie-arme producten zoals fruit en groenten. Normaal wordt 50 % van de energie-inname uit voedsel met een middelmatige energiedichtheid gehaald (bv. brood, aardappelen, rijst, pasta), 37 % uit voedsel met een lage energiedichtheid (bv. fruit, groenten, sap en frisdranken) en 13 % uit voedsel met een hoge energiedichtheid (bv. cake, chocolade, pizza, slagroom) (17,18).

Vezelrijke voedingsmiddelen (bv. volkorenproducten, groenten en fruit) verlagen de energiedichtheid. Zij geven bovendien sneller een vol gevoel en voorkomen op die manier een al te grote energie-inname. Daarnaast bevatten vezelrijke voedingsmiddelen in het algemeen minder vet (17).

Het gebruik van alcohol voor en tijdens de maaltijd stimuleert de energie-inname en vermindert het verzadigingsgevoel (20).

Wanneer men in het hooggebergte vertoeft, is men sneller verzadigd waardoor men minder eet en gemakkelijker gewicht verliest (16,21). Ook na lichamelijke inspanningen heeft men korte tijd geen honger (2,22). In beide gevallen moet de energie-inname dan cognitief worden gestimuleerd. In het bijzonder bij verhoogde behoeften aan energie omwille van een langdurig en hoog energiegebruik, zoals tijdens de ronde van Frankrijk, de "Whitbread race" en het Olympisch langlaufen, moet een bepaalde energie-inname worden aangeleerd, los van het feit of men al dan geen honger heeft. Zoniet gaat de prestatie onherroepelijk achteruit (2,15).

Bij hoge omgevingstemperaturen eet men relatief meer voedsel met een lage energiedichtheid waardoor de totale energie-inname lager is. Bovendien heeft men vaak de neiging te weinig te eten, waardoor de lichaams (kern)temperatuur minder sterk stijgt (23,24). Anderzijds wordt de energie-inname snel te hoog bij lage omgevingstemperaturen: men overeet zich waardoor de lichaams(kern)temperatuur minder sterk daalt (24,25).

Besluit

De energie-inname wordt ten dele fysiologisch op het energiegebruik afgestemd door middel van honger en verzadiging. De honger- en verzadigingssignalen vormen een cascade van verschillende signalen die achtereenvolgens berichten doorgeven aan de hypothalamus. Zij kunnen worden beïnvloed door de samenstelling van de maaltijd, het gebruik van alcohol, lichamelijke inspanningen, grote hoogtes en extreme omgevingstemperaturen. Daarnaast is de energie-inname echter ook onderhevig aan talrijke cognitieve invloeden.

Literatuur

1. Blundell JE and Hill AJ. On the mechanism of action of Dexfenfluramine: effect on alliesthesia and appetite motivation on lean and obese subjects. *Clin. Neuropharmacol.* 1988; 11: S121-134.
2. King NA, Blundell JE, Westerterp-Plantenga MS. Effects of exercise on appetite in humans. Chapter 4 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 85-98; 1999.
3. Langhans W. Metabolic control of food intake. Role of the liver. Chapter 9 in Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 185-199; 1999.
4. Marken Lichtenbelt W, Fogelholm M. Body composition. Chapter 19 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 383-404; 1999.
5. Melanson KJ, Westerterp-Plantenga MS, Campfield LA, Saris WHM. Short term regulation of food intake in humans. Chapter 2 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 37-58; 1999.
6. Melanson KJ, Westerterp-Plantenga MS, Saris WHM, Campfield, LA. Blood glucose patterns and appetite in time-blinded humans: Carbohydrate versus fat. *Am J Physiol* 1999; 277 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 46): R337-R345.
7. Melchior J-C, Fantino M, Rozen R, Igoin L, Rigaud D, Apfelbaum M. Effects of a low dose of naltrexone on glucose-induced alliesthesia and hunger in humans. *Pharmacology, Biochemistry & Behaviour* 1989; 32:117-121.
8. Paman WJ, Rossner S, Westerterp-Plantenga MS, Saris WHM. Body weight changes after treatment of obesity or pregnancy. Chapter 13 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 269-284; 1999.
9. Rolls ET. Taste and olfactory processing in the brain, and its relation to the regulation of food intake. Chapter 1 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 19-36; 1999.
10. Romon M. Glucides, lipides et satiété, une question de temps? *Cah Nutr Diét* 2001; 36 (5): 322-326
11. Steffens AB, van Dijk G. Central nervous control of food intake, metabolism, and body weight. Chapter 6 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 121-134; 1999.
12. Stubbs J, Raben A, Westerterp-Plantenga MS. Macronutrient metabolism and appetite. Chapter 3 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). *Regulation of food intake and energy expenditure.* 1e dr. Milaan: EDRA; 59-84; 1999.
13. Westerterp KR and Elbers JMH. Gender differences, energy balance, and effects of sex steroid

- hormones on circulating leptin levels. Chapter 15 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). Regulation of food intake and energy expenditure. 1e dr. Milaan: EDRA; 305-324; 1999.
14. Westerterp KR and Goran MI. Age and energy balance. Chapter 16 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). Regulation of food intake and energy expenditure. 1e dr. Milaan: EDRA; 325-348; 1999.
 15. Westerterp KR. Exercise and energy balance. Chapter 17 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). Regulation of food intake and energy expenditure. 1e dr. Milaan: EDRA; 349-361; 1999.
 16. Westerterp KR, Westerterp-Plantenga MS. Appetite and energy balance at high altitude. Chapter 18 in: Westerterp-Plantenga MS, Steffens AB, Tremblay A, (Eds). Regulation of food intake and energy expenditure. 1e dr. Milaan: EDRA; 363-382; 1999.
 17. Westerterp-Plantenga MS. Analysis of energy density of food in relation to energy intake regulation in human subjects. *Br J Nutr* 2001; 85: 351-361.
 18. Westerterp-Plantenga MS, Pasman WJ, IJdema MJW, and Wijckmans-Duijsens NEG. Energy intake adaptation of food intake to extreme energy densities of food by obese and non-obese women. *EJCN* 1996; 50: 401-407.
 19. Westerterp-Plantenga MS, Rolland V, Wilson SAJ, Westerterp KR. Satiety related to 24h diet-induced thermogenesis during high protein/carbohydrate versus high fat diets, measured in a respiration chamber. *EJCN* 1999; 53: 1-8.
 20. Westerterp-Plantenga MS, Verwegen CRT. The appetizing effect of an alcohol aperitif in overweight and normal weight humans. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 205-12.
 21. Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR, Rubbens M, Verwegen CRT, Richalet JP, Gardette B. Appetite at 'high altitude'; operation Everest-Comex: a simulated ascent of the Mt. Everest. *J Appl Physiol* 1999; 87 (1):391-399.
 22. Westerterp-Plantenga MS, Verwegen CRT, IJdema MJW, Wijckmans-Duijsens NEG, Saris WHM. Acute effects of exercise or sauna on appetite in obese and non-obese men related to dehydration. *Physiology and Behavior* 1997; 62: 1345-54.
 23. Westerterp-Plantenga MS, van Marken Lichtenbelt WD, Cilissen C, Top S. Energy metabolism in women during short exposure to an elevated ambient temperature. *Physiol and Behav.*, in press.
 24. Westerterp-Plantenga MS, van Marken Lichtenbelt WD, Schrauwen P. Core-skin temperature gradient in humans related to non-shivering thermogenesis 3. *J of Thermal Biology* 2001; 26: 467-472.
 25. Westerterp-Plantenga MS, van Marken Lichtenbelt WD, Strobbe H, Schrauwen P. Energy metabolism in humans at a lowered ambient temperature. *EJCN*, in press.
 26. Westerterp-Plantenga MS, Saris WHM, Hukshorn CJ, Campfield LA. Effects of weekly administration of pegylated recombinant human OB protein on appetite profile and energy metabolism on obese men. *Am J Clin Nutr* 2001; 74:426-434.