

## A De geschiedenis van de voedingsleer

2041-V

R.J.J. Hermus, voedingskundige

*Instituut CIVO-Toxicologie en Voeding TNO, Zeist, en bijzonder hoogleraar voedingsleer van de mens, Rijksuniversiteit Limburg, Maastricht*

### Samenvatting

De wereld waarin de mens van heden moet leven en zich moet voeden is een geheel andere dan die waarin zijn evolutie over miljoenen jaren zich afspeelde. De verandering is van uiterst recente datum. Circa 10 000 jaar geleden slaagde hij erin granen en vee te domesticeren. Men mag daarom een gebrek aan balans verwachten tussen zijn huidige omgeving, inclusief de beschikbaarheid van voedsel, en de omgeving waarvoor zijn geëvolueerde. Dit gebrek aan evenwicht wordt verantwoordelijk gesteld voor een aanzienlijk deel van de morbiditeit en mortaliteit in vele moderne gemeenschappen, aangezien het (metabole) vermogen tot adaptatie menigmaal wordt overschreden. Essentieel voor gezondheid en continuïteit is de aan- of afwezigheid van een voedingsfactor. Echter de grootte van het effect van de voedingsfactor wordt bepaald door de genetische gevoeligheid van een individu, gemoduleerd door andere leefwijzefactoren als lichamelijke activiteit, roken, stress, enzovoort.

De Voedingsleer en de opvattingen over voeding en gezondheid hebben drie bloeiperioden gekend. In de Grieks-Romeinse Oudheid beschouwde men voeding als een proces om het lichaam intact te houden. Voedsel werd verkleind en uiteindelijk in de weefsels geassimileerd. Deze periode eindigt met Galenus (circa 200). Zijn geschriften blijven maatgevend gedurende de gehele Middeleeuwen, tot de Renaissance (circa 1550) wanneer het kritisch waarnemen, bijvoorbeeld de anatomie van Vesalius, en het zorgvuldig experimenteren, bijvoorbeeld door Van Helmont, tot doel worden verheven. De chemie en de fysica dragen belangrijk bij tot een beter begrip van de levensprocessen en bijvoorbeeld de transformatie van energie. Deze periode wordt besloten door Liebig met zijn theorie dat voeding in wezen bedoeld is om lichaamseiwit te sparen en aan te vullen en door de onderzoekers Voit, Rubner en Atwater die de energiebalans bestudeerden.

Tenslotte volgt de moderne tijd waarin de metabole omzettingen in het lichaam een centrale plaats gaan innemen. Deze begint met Boussingault, die de omzetting van zetmeel in vet ontdekte, en Claude Bernard, de grondlegger van de intermediaire stofwisseling en de rol van het milieu interieur bij de handhaving van de homeostase. Ook de ontdekking van de aminozuren als bouwstenen van eiwit en van vitamines als katalysator van belangrijke stofwisselingsprocessen zijn hoogtepunten in deze laatste periode.

De huidige voedingsproblematiek is in wezen nog steeds een vraag naar het hoe en wat van de handhaving van de homeostase, waarbij voor velen de grenzen van het adaptatievermogen zijn overschreden ten koste van de ontwikkeling van pathologie op middellange termijn.

### Inleiding

#### *Voeding in de oertijd*

De mens is bij uitstek een omnivoor. We mogen aannemen dat in de tijd toen de mensachtigen zich begonnen te onderscheiden van de overige primaten, hun voeding erg zal hebben geleken op die van de mensapen van heden. Onze voorouders zullen verzamelaars zijn geweest van noten, bes-

VOEDING IN DE PRAKTIJK [MAART 1987] II-A-1  
Utrecht, Bohn, Scheltema, Holkema, 1987,  
blz. II-A-1 - II-A-18.

## DE GESCHIEDENIS VAN DE VOEDINGSLEER

sen, vruchten, wortels en bij gelegenheid van een ei of een of ander klein diertje. Zij bezaten eenvoudige gereedschappen. Naarmate zij hun vaardigheden voor de jacht, nu zo'n miljoen jaar geleden, begonnen te ontwikkelen, nam de hoeveelheid dierlijk eiwit in het rantsoen toe. Vervolgens kwam de tijd van de landbouw, ongeveer 20 000 jaar geleden, en er had wederom een radicale verandering van de voeding plaats.

### *De Yanomama-Indianen en hun voeding*

Er leven op deze aarde nog slechts weinig populaties in de vóórlandbouwperiode van verzamelen en jagen. Eén daarvan, de Yanomama-Indianen uit het Braziliaanse Amazonegebied, is gedetailleerd onderzocht en beschreven door Neel. Een nadere kennismaking met de leef- en voedingsgewoonten van deze stam kan wellicht veel leren over de voeding van onze voorouders. Het meest opvallend is dat hij nooit een geval van obesitas heeft waargenomen, hoewel sommige jonge vrouwen weldadig mollig waren. Evenmin werd ooit eiwitenergie-ondervoeding waargenomen. Hoewel de Yanomama's voornamelijk leven van jagen en verzamelen kennen zij ook een soort tuin-cultuur. Een stuk oerwoud wordt ontbost en platgebrand en bijvoorbeeld met bananen beplant. Regelmatig wordt het stuk grond verwisseld. Tijdelijk kan er wel eens enig voedseltekort optreden maar dit is nooit een chronische situatie. Ten aanzien van eiwit in de voeding zijn de Yanomama's niet éénkennig: hoewel wild de voorkeur heeft, bijvoorbeeld tapir of aap zijn ook wormen, larven, eieren en visjes aanvaardbaar.

Een kind wordt door de moeder circa drie jaar aan de borst gehouden tot het volgende kind zich aandient. Als een volwassen vrouw niet een eigen kind te voeden heeft, voedt ze dat van een ander. De voedingstoestand van deze kinderen is gewoonlijk uitstekend. Bij het stoppen met borstvoeding is de ontwikkeling van de tanden zo ver dat het op eigen kracht het lokale voedsel aankan.

De gammaglobulinen zijn, vergeleken met de ontwikkelde wereld, tamelijk hoog. Hieruit is af te leiden dat er een relatief soepele overgang is van passieve naar actieve immuniteit tegen de lokale pathogene kiemen. De diarree, die zo typisch is voor vele meer geciviliseerde agrarische populaties in de tropen, rond het spenen, treedt bij de Yanomama's vrijwel niet op.

---

### **'Natuurlijke' geboortebepking**

Het is opmerkelijk dat bijna alle primitieve volkeren gewoonten hebben die ertoe bijdragen de bevolkingsgroei binnen redelijke grenzen te houden. De lang voortgezette lactatie kan ertoe bijdragen de ovulatie te onderdrukken. Vooral het frequent zogen zou leiden tot frequente prolactinepieken en aldus effectiever zijn in het onderdrukken van oestrogeen- en progesteronproductie, dan het enkele malen per dag aanleggen van de zuigeling. Bovendien bestaan er vaak taboes op geslachtsverkeer binnen een jaar na de geboorte van een kind.

---

Zoals onze voorouders zich voedden

Abortus is geen onbekend verschijnsel, evenmin als infanticide. Op grond van de geslachtsverhoudingen werd voor de Yanomama's berekend dat circa 30 % van de meisjes werd gedood. Eén van de redenen kan zijn dat het voorgaande kind nog niet van de borst kon. Bovendien worden kinderen met een of andere misvorming gewoonlijk eveneens gedood. Een hoge prevalentie van parasitaire infecties werd waargenomen: *Ascaris*, *Trichuris*, *Strongyloides*, *Entamoeba*, *Giardia*. Echter ernstige infecties van deze kwamen nauwelijks voor. Het elke drie à vier jaar veranderen van woonplaats en geen vaste defecatieplaats gebruiken zal hier zeker aan bijdragen.

Het resultaat van dit alles is een overlevingscurve die, los van de infanticide, begint met circa 22 % sterfte onder jongens- en 13 % onder meisjeszuigelingen. De mortaliteit onder kinderen en jonge volwassenen wordt sterk door traumata bepaald. Ongeveer 10 % van de levendgeborenen bereikte de leeftijd van 60 jaar. De bevolkingsgroei is op basis van deze gegevens niet meer dan 0,5-1 %.

#### *De moderne mens en zijn voeding*

Tegenover de tamelijk idyllische situatie onder de Yanomama-Indianen in het Amazonegebied staat die van de moderne mens. Aan de ene kant bestaat er chronische ondervoeding in grote delen van de wereld waar de kinderen de eerste slachtoffers van zijn, niet in de laatste plaats door een hoog geboortecijfer waardoor de periode aan de borst wordt ingekort. Aan de andere kant is er een hoge frequentie van overvoeding die op grond van het voorkomen van obesitas wordt geschat in de orde van grootte van 10 tot 25 %, afhankelijk van leeftijd, geslacht en aangelegd criterium.

Behalve de hoeveelheid voedsel die beschikbaar is zijn er ook grote verschillen in de samenstelling van het voedsel dat door de primitieve en de moderne mens wordt gegeten, de hoeveelheid bulk bijvoorbeeld. De primitieve mens had geen toegang tot geraffineerd voedsel. De darmassage verliep aanzienlijk sneller en de hoeveelheid faeces was eveneens aanzienlijk groter. Over contaminanten en additieven weten we niet veel. Bewuste additieven werden door de primitieve mens waarschijnlijk niet toegepast. Daarentegen is het zeer waarschijnlijk dat zijn voedsel grote hoeveelheden mycotoxinen zal hebben bevat en bijvoorbeeld nitrosaminen, evenals, wanneer de grond daartoe aanleiding gaf, zware metalen of spoorelementen.

Een typisch voorbeeld is het natriumgehalte van voedsel. Via urineverzameling onder de Yanomama-Indianen kon worden vastgesteld dat zij gemiddeld slechts 1 mmol natrium per liter per 24 uur uitscheidde. Dit is circa 1 % van de hoeveelheid die in de urine van Europeanen of Amerikanen wordt aangetroffen. Enkele uitschieters bleken de kok van de expeditie te hebben geholpen!

Het samenspel van erfelijke aanleg en omgevingsfactoren zorgt er thans voor dat individuele gevoeligheid voor een voedingsfactor, die in een primitieve setting onopgemerkt blijft, onder de omstandigheden van een gewijzigde voeding en leefsituatie bij de moderne mens wel tot expressie

De huidige voeding: arm aan bulk, rijk aan vet, rijk aan zout

Gezondheid: resultante van erfelijke aanleg, voeding en leefsituatie

komt. We zien bij de primitieve mens een bijna volstrekte afwezigheid van obesitas, hypertensie, hyperlipidemie, diabetes, atherosclerose en colonkanker; ziektebeelden die zeer prevalent zijn onder de moderne bevolkingen.

### Adaptatie en variabiliteit

De mens beschikt, blijkens zijn vermogen te leven en te functioneren onder een breed scala van omstandigheden, lopend van het regenoerwoud tot de woestijn, van de tropen tot Antarctica, op zeeniveau en in de Andes, over een enorm adaptatievermogen. De Eskimo leeft op een voeding met circa 45 % vet en de rest vooral eiwit. Daarentegen leven grote delen van Azië en Afrika van voedingen met minder dan 10 % of zelfs 5 % vet maar met meer dan 80 % koolhydraten. De aanpassing van de mens aan deze voedingen is niet genetisch maar fenotypisch. De verteerbaarheid kan worden aangepast; de hoeveelheid lichamelijke activiteit compenseert een eventueel energietekort; op langere termijn vormt een geringere lichaamslengte en -omvang een adaptatie in de richting van een geringere voedselbehoefte. Dit laatste behoeft echter niet zonder consequenties te zijn. Een verminderde weerstand tegen infecties en/of een geringere (werk)prestatie zullen vaak samengaan met een kleinere lichaamssomvang onder zulke omstandigheden.

De mens adapteert fenotypisch aan zijn voeding.

#### *Variabiliteit*

Nauw hierbij aansluitend is het gegeven van de individuele variatie in reacties op voedingsstoffen. Voor de eiwitbehoefte is een en ander ver uitgewerkt.

Mensen zijn verschillend en hebben verschillende behoeften aan voedingsstoffen.

Het blijkt dat de gecombineerde variatiecoëfficiënt voor de hoeveelheid eiwit die nodig is om mensen in stikstofbalans te houden circa 18 % is. De variatiecoëfficiënt voor alleen de interpersoons variatiecomponent bleek 12,5 % te bedragen. Ook voor andere voedingsstoffen blijkt de variatie in deze zelfde orde van grootte te liggen, voor zover bekend althans, want een goed inzicht in deze variabiliteit ontbreekt doorgaans. Niettemin wordt met deze variabiliteit rekening gehouden bij het vaststellen van de aanbevolen hoeveelheden voedingsstoffen die de mens dagelijks tot zich zou moeten nemen. Aangezien deze aanbevelingen vaak de basis vormen voor de voedselvoorziening van een land of een grote groep mensen, wordt een soort veiligheidsmarge aangehouden. Op grond van zuiver statistische overwegingen wordt deze marge zodanig vastgesteld dat het overgrote deel van de behoeften in een groep zullen zijn gedekt wanneer de aanbevolen hoeveelheid voor de groep wordt gehaald. Een en ander betekent dat in dat geval voor een groot deel van de groep de voorziening ruim boven de fysiologische behoefte zal liggen. De marge wordt vaak vastgesteld op twee standaardafwijkingen. Voor eiwit komt dat dus neer op circa 25 % boven op de hoeveelheid waarvan is vastgesteld dat daarbij de stikstofbalans in evenwicht is.

**Gemiddelde behoeften en individuele inneming**

Aanbevolen hoeveelheden zijn dus waarschijnlijkheidsuitspraken. In onderstaand staatje is aangegeven welke waarde aan een bepaalde voorziening met eiwit mag worden toegekend in relatie tot de behoefte.

Inneming versus gemiddelde behoefte (1 s.d. = 12,5 %)	Geschat percentage van de groep inadequaat gevoed
25 % boven gemiddelde	2,5 %
12,5 % boven gemiddelde	33 %
— — gemiddelde	50 %
12,5 % beneden gemiddelde	67 %
25 % beneden gemiddelde	97,5 %

De beoordeling van de inneming wordt nog problematischer in concrete gevallen door de soms aanwezige pathologische situaties die de behoeften verder kunnen opdrijven, bijvoorbeeld darm-, luchtweg- of andere infecties. Traumata induceren een overeenkomstige behoefteverhoging. Aanbevelingen dienen tevens voldoende hoog te zijn om groeisprints en inhaal-episoden na infecties mogelijk te maken.

Een en ander betekent tevens dat de voeding niet beoordeeld kan worden op grond van de gegeten hoeveelheden van één dag. De aanbevelingen gelden als een gemiddelde over een langere tijd. Individuen zullen er doorgaans geen hinder van ondervinden indien zij een aantal dagen of zelfs weken (ver) beneden de aanbevolen hoeveelheden consumeren. Uiteraard hangt het effect af van de voedingsstof in kwestie. De mens is geëvolueerd met het vermogen om niet alleen op een grote variatie aan voedingsmiddelen en rantsoenen te kunnen bestaan maar evenzeer om aanzienlijke variaties in de dagelijks beschikbare hoeveelheden te tolereren.

Pas als na infecties de voeding niet de extra hoeveelheid energie of eiwit verschaft die eerder verloren is gegaan worden de grenzen van het aanpassingsvermogen gepasseerd. Evenzo zal bij een patroon van constant overeten, in combinatie met een zittend leven, het aanpassingsvermogen worden overschreden.

In geval van vitamine A zullen voorraden in de lever die zijn opgebouwd in het seizoen waarin fruit en groene groenten volop beschikbaar waren, voldoende zijn om maanden met schaarste te overbruggen. Zelfs voor de water-oplosbare B-vitamines duurt het enige weken vooraleer als gevolg van een deficiënte voeding manifeste symptomen optreden die wijzen op tekorten.

*Aanleg of aanpassing*

Het grote aanpassingsvermogen van de mens heeft de weg vrijgemaakt voor exploratie en consumptie van een grote variatie aan voedingsmiddelen en voor adaptatie aan geheel nieuwe omgevingen. Hierbij kan men eerder van fenotypische of culturele dan van genetische mutaties spreken. Ook de in recente jaren sterke stijging van het aanbod aan 'nieuwe' voedingsmiddelen heeft voor de consument nauwelijks problemen van tolerantie opgeleverd.

Aanbevelingen gelden als gemiddelde over een langere tijd.

De voeding nog niet aangepast aan de moderne leefsituatie

Het grote adaptatievermogen van de mens zal tijdens zijn oerbestaan als jager en verzamelaar van nut zijn geweest voor zijn gezondheid, voortplanting en prestatievermogen. Echter de biologische evolutie had niet plaats onder condities van de moderne maatschappij, zoals een zittend bestaan, gecombineerd met een overvloed aan energierijk voedsel, sterk geraffineerd, rijk aan vet, suiker, eventueel alcohol en zout. Het is onder deze omstandigheden niet verwonderlijk dat de grenzen aan het adaptatievermogen worden overschreden voor vele individuen in dergelijke samenlevingen. Een hoge prevalentie van diabetes, hypertensie en coronaire hartziekten is het onvermijdelijke gevolg.

---

#### Voeding als omgevingsfactor

Het serumcholesterolgehalte van kinderen in Guatemala varieerde van  $121 \pm 23$  mg bij plattelandsfamilies, via  $149 \pm 29$  mg bij arme stadsfamilies tot  $187 \pm 27$  mg in welgestelde stadse families. De respectieve vetconsumptie was 8,15 en 37 % van de energie. Deze verschillen zijn bepaald niet genetisch, maar door de omgeving bepaald. Anderzijds is het duidelijk dat binnen elk van deze groepen er grote verschillen bestaan in de neiging tot hypercholesterolemie. Van de omgevingsfactoren wordt het meeste gewicht toegekend aan de voedingsfactor. Het optreden van ziekteverschijnselen is dus duidelijk het gevolg van voedingsstress, bij een zekere genetische gevoeligheid

---

Er zijn echter ook situaties waarin de genetische aanleg prevaleert. Bij de zeldzame gevallen van hypercholesterolemie waarbij de receptoren voor de cholesterol dragers volledig (homozygoot) of voor ongeveer de helft (heterozygoot) afwezig zijn, zijn serumcholesterolgehalten van 1000 en circa 500 mg per 100 ml normaal bij mensen in een Westerse samenleving. Het verlies van het enzym lactase in de dunne darm is duidelijk genetisch bepaald. Grote delen van de wereldbevolking, met uitzondering van blanken, verliezen aldus het vermogen lactose te splitsen en de bestanddelen te assimileren. Kleinere doses lactose echter kunnen als substraat door de flora in de dikke darm worden gefermenteerd en aldus toch nog worden benut; een duidelijk voorbeeld van adaptatie.

#### Stofwisselingsindividualisme

Geen gebied is zo fascinerend als dat van het ogenschijnlijk oneindige aantal stofwisselingsstoornissen, de zogenaamde 'inborn errors'. De bestudering ervan heeft enorm bijgedragen aan de verdieping van onze kennis omtrent de stofwisseling en de rol van enzymen en substraten. Onder stofwisselingsstoornissen worden verstaan: lactasedeficiëntie, diabetes, pentosurie, fructosurie, galactosemie, glycogeenstapeling, oxalurie; verder stoornissen in de stofwisseling van vele aminozuren: tyrosine, glycine, fenylalanine, histidine, vertakte-ketenaminozuren, homocystine, proline en hydroxyproline; stoornissen in de vetstofwisseling: hyperlipemie, hypercholesterolemie, de ziekte van Tay-Sachs, Niemann-Pick, Fabry; in het transport van mineralen: ziekte van Wilson, hemochromatose.

Deze 'inborn errors' zouden kunnen worden beschouwd als het topje van de ijsberg, die gevormd wordt door de enorme massa aan stofwisselingsvariabiliteit. Duizenden minder ernstige afwijkingen zouden kunnen bestaan zonder ooit klinisch te worden aangetoond, laat staan behandeld. Sommige ervan zouden een niet geringe invloed kunnen uitoefenen op de gezondheid van individuen zonder die van de bevolking als geheel te beïnvloeden. Williams heeft voor dit gebied de term 'biochemische individualiteit' gesuggereerd. Hij stelt dat menige ziekte met een nog onduidelijke ontstaanswijze, die bepaalde individuen treft en anderen onberoerd laat, wortelt in het onvermogen van deze individuen hun cellen continu of op cruciale momenten van voldoende voedingsstoffen te voorzien in relatie tot hun eigen specifieke behoeften. Deze hypothese bezit op zichzelf aantrekkelijke aspecten voor verdere studie en is in zijn algemeenheid nauwelijks aanvechtbaar. Zij wordt tevens als de basis beschouwd van de orthomoleculaire voedingsleer. Hierbij dienen megadoses van bijvoorbeeld bepaalde vitamines te worden ingenomen om het veronderstelde biochemische defect te overwinnen.

'Inborn errors': het topje van de ijsberg van stofwisselingsstoornissen?

Gelet op het grote aantal nutriënten en het nog vele malen grotere aantal enzymen en eiwitten dat betrokken is bij de stofwisseling van elk van deze is het niet onredelijk te verwachten dat elk individu wel een of ander metabool defect zal bezitten waardoor hij op dat punt een afwijkende behoefte heeft van de rest van de bevolking. Het is goed aan uitbijters in experimenten op voedingsgebied maar ook in de medische praktijk meer aandacht te besteden.

Meer aandacht voor uitbijters nodig

### De ontwikkeling van de voedingsleer

Het is voor een goed begrip en waardebepaling van de huidige kennis van de voedingsleer nuttig, stil te staan bij de ideeën over voedsel en over de manier waarop het menselijk organisme met voedsel omgaat, die in de loop der tijden hebben geleefd. Het is in het bestek van dit overzicht niet goed mogelijk, gedetailleerd weer te geven welke ideeën de verschillende grote namen op het gebied van de geneeskunde, de fysiologie en de chemie hebben ontwikkeld met betrekking tot de voeding en de relatie tussen het voedsel dat de mens tot zich neemt en zijn gezondheid. Veel meer zal in telegramstijl en met grote stappen een tocht langs de wetenschapsontwikkeling van circa 3000 jaar worden gemaakt.

3000 jaar voedingsleer

Centraal heeft voortdurend de vraag gestaan wat er met het voedsel gebeurt nadat het is opgegeten. Waar en hoe wordt voedsel omgezet in lichaamsmateriaal en hoe is het lichaam in staat zichzelf te handhaven terwijl het toch voortdurend verandert.

*Alcmaeon van Croton* (600 voor Christus) ontwikkelde de leer van de balans tussen de processen van afbraak en herstel van het lichaam. Gezondheid was volgens hem 'een balans van krachten', dat wil zeggen een balans tussen tegengestelde kwaliteiten als nat en droog, koud en heet, zoet en bitter

en dergelijke. Overheersing van één kwaliteit leidt tot gebrek aan balans en veroorzaakt ziekte. Het evenwicht wordt verstoord door een teveel of te weinig van bepaald voedsel, dat bloed, merg en hersenen kan aandoen.

Vuur, water,  
lucht en aarde

*Empedocles van Akragas* (492-435 voor Christus) gaf een meer concrete invulling aan de krachten of kwaliteiten van Alcmaeon. Hij postuleerde vier wortels of elementen: vuur, water, lucht en aarde. Hij doceerde dat deze vier elementen de basis van alle dingen voorstelden en dat alle voorwerpen in de natuur combinaties van deze vier waren. De drijvende krachten die de elementen dwongen te combineren of juist te separeren waren liefde en haat, aantrekking en afstoting. Voeding zou ertoe leiden dat ieder deel van het lichaam die bestanddelen naar zich toetrekt die het nodig heeft voor instandhouding en herstel.

*Anaxagoras* (500-428 voor Christus) geloofde eveneens in structurele deeltjes. Hij veronderstelde dat alle materiaal was samengesteld uit een oneindig aantal deeltjes. Hij verklaarde dat er een deel is van alles in alles. Dit concept toegepast op het menselijk organisme en voedsel leidt tot de vraag 'kan vlees ontstaan uit niet-vlees?'. Voeding is dus essentieel een transformatie van materiaal.

Voeding is  
transformatie  
van materiaal

*Hippocrates* (460-360? voor Christus) of zijn school schreef het boek *Nutrimēt*. Hierin is de conclusie opgenomen dat voedsel moet worden opgelost om naar de verschillende delen van het lichaam te worden getransporteerd waar het wordt getransformeerd in vlees, bot en dergelijke. Lucht wordt eveneens beschouwd als voedsel. Bloed en melk worden beschouwd als overbodig en als restant. 'Voedsel is één ding, niettemin kan het vele dingen worden'.

Hij beschouwt alle voedsel als relatief goed of slecht. Géén enkel voedsel is goed op zichzelf maar alleen in relatie tot een bepaalde persoon of situatie. Voedsel heeft kracht (dynamis), die de som is van al zijn eigenschappen. Het ligt aan de basis van vlees, bot enzovoort maar ook van warmte en dus van energie. Voedsel verschaft voeding (= onderhoud), groei en gezondheid. Hippocrates stelde ook dat de interne warmte van het lichaam door voedsel werd gegenereerd en onderhouden. In het boek *Aforismen* stelt hij dat wanneer men meer voedsel tot zich neemt dan zijn gestel toelaat, ziekte ontstaat. Ook de rol van activiteit werd al onderkend: voedsel en inspanning zijn tegengestelde krachten maar werken samen om de gezondheid te handhaven. Het is de aard van inspanning om van het lichaam weg te nemen, maar van voedsel en drank om wat er verloren is gegaan weer goed te maken.

*Aristoteles* (384-322 voor Christus) doceerde dat niets door het toeval tot stand kwam maar alles een doel had. Voedsel dat wordt gegeten ondergaat verkleining in de mond en een eerste vertering in de maag (pepsis). Hier komt het voedsel in een hogere staat van perfectie door de energie uit lever en milt. Het vaste en onverteerbare verlaat het lichaam via de ontlasting. Het vloeibare, voedzame deel wordt geabsorbeerd via de bloedvaten van maag en dunne darm, als de wortels van een plant. Via het bloed gaat het nog onvolmaakte voedsel als serum naar het hart waar het een tweede vertering ondergaat tot bloed. Elk orgaan selecteert vervolgens de voedings-

stoffen die het nodig heeft. Wanneer er voldoende voedsel is wordt vlees gevormd. Met een overmaat ontstaat vet. Te veel vet, oordeelde Aristoteles, is schadelijk: 'zulke dieren verouderen snel en zijn minder vruchtbaar'.

Uit een overmaat voedsel ontstaat vet.

*Herophilus* (200 voor Christus) ontdekte de vena portae als belangrijkste bloedvat dat de geabsorbeerde voeding naar de lever afvoert.

*Galenus* (129-199 na Christus) bouwde voort op de principes van Hippocrates en Aristoteles. Ook hij geloofde in een hoger doel voor alle dingen. Voedsel dient voor de restitutie van wat verloren is gegaan, via assimilatie. Voeding is dus een metabool proces, dat in de weefsels plaatsheeft. Hiertoe is enige voorbereiding nodig in de mond, in de maag en in de darmen. Er gebeurt meer dan uitsluitend verkleining. Het voedsel verandert wezenlijk. Het onverteerbare verlaat het lichaam; de rest wordt geabsorbeerd en naar de lever getransporteerd waar het een tweede zuivering ondergaat en tot bloed wordt omgezet. Vanaf de lever wordt het bloed door het gehele lichaam getransporteerd waar het tot vlees, bot en dergelijke wordt geassimileerd en waar wat niet gebruikt kan worden wordt verzameld als resten of overbodige restanten om te worden uitgescheiden. Galenus ontwikkelde ook zeer geavanceerde gedachten over de warmteproductie uit voedsel: 'voedsel wordt gebruikt door onze warmte zoals olie wordt verbruikt door de vlam'. Hij geeft in zijn geschriften er ook blijk van een parallel te zien tussen de vlam en de warmte in het lichaam, waarbij beide processen worden gevoed door brandstof en beide lucht verbruiken.

Het zou vele eeuwen duren eer de Westerse wetenschap nieuwe vorderingen zou maken op het gebied van fysiologie en voeding. Moslim-geleerden gaven de toon aan, zoals Avicenna (980-1037) en Maimonides (1135-1204) maar zij borduurden toch vooral voort op het werk van Galenus. Tijdens de gehele Middeleeuwen werd weinig voortgang geboekt. Pas in de 14e eeuw begon er weer een tijdperk van onderzoeken en reizen. Dit stimuleerde ook weer de neiging tot zorgvuldig waarnemen en onderzoeken en tot experimenteren. Echter de wetenschapper in de Renaissance had zich van vier leerstellingen te ontdoen: het Christelijk dogma, de Grieks-Romeinse erfenis, de alchemie en astrologie en middeleeuws bijgeloof. Het is de grote verdienste geweest van Fernel (1497-1558) dat hij een gemoderniseerde versie van het werk van Galenus en de ontwikkelingen daarna heeft geschreven in het eerste werk dat formeel als fysiologieboek werd uitgebracht. Hij voegde echter nog weinig nieuws toe.

*Vesalius* (1514-1564), geboren in Brussel en opgeleid in Leuven, was een der eersten die kritische kanttekeningen maakte bij een aantal van de opvattingen van Galenus. Zijn *De humani corporis fabrica* uit 1543 was een monumentaal werk van 663 pagina's met meer dan 300 illustraties en een schoolvoorbeeld van nauwkeurig observeren.

*Leonardo da Vinci* (1452-1519) had ook reeds anatomische tekeningen vervaardigd. In een ervan is de vena cava afgebeeld met als eindpunt het hart en de vena hepatica uitmondend in de vena cava. Hij stelde dan ook het hart weer centraal in de bloedcirculatie en niet de lever.

*Paracelsus* (1493-1547), beschouwd als rebel, charlatan en genie tegelijk, brak openlijk met de traditionele opvattingen. Hij was de eerste die de chemie te hulp riep ter verklaring van de natuur. In elk orgaan en in elk natuurprodukt bestaan er drie principes, het brandbare, het vluchtige en het onbrandbare, en hij noemde deze zwavel, kwik en zout. Deze theorie zou tot het einde van de 18e eeuw stand houden. Hij ontwikkelde ook het concept van de drijvende kracht (vis) achter alle dingen, de archeus. Vragen met betrekking tot voeding werden ook door hem gesteld. Indien een mens brood eet wordt het menselijk vlees. Als een varken het eet wordt het varkensvlees. Paracelsus meende dat iets in de maag zorgde voor een scheiding van giftige en niet-giftige bestanddelen van het voedsel: een soort alchemie; het niet-giftige dient als voeding.

*J.B. van Helmont* (1579-1644), geboren in Brussel en opgeleid in Leuven, verwierp de theorie van de vier elementen van de klassieken en ook die van de drie principia van Paracelsus. Volgens hem was water het primaire materiaal en het begin van alles, immers een wilgentak, geplant in een bak aarde, groeit door deze uitsluitend water te geven. Het gewicht van de aarde verandert immers niet!

Vertering door  
fermenten

Zijn ideeën over vertering waren het meest revolutionair. In plaats van vertering te beschouwen als een proces onder invloed van inwendige energie, beschouwde hij het als een proces, waarbij fermenten inwerken op materie. Een ferment is dan een extreem fijne vorm van materie. Een duidelijke voorloper van het latere enzymidee. Bovendien kende hij betekenis toe aan het maagzuur tijdens vertering, hoewel hij onderkende dat zuur niet voldoende was. Er bestond enige vorm van samenspel tussen maag en milt geleid door de archeus. De voedselbrij passeert uit de maag in het duodenum en wordt daar geneutraliseerd door een ferment uit de gal.

Hij postuleerde ook een mechanisme voor absorptie via ofwel passieve diffusie ofwel actief transport. Tenslotte vindt assimilatie in de weefsels plaats.

*F. Sylvius* (1614-1672) doceerde in Leiden en exploiteerde het eerste chemisch laboratorium aan een universiteit. Volgens hem was kennis van zuren en chemische transformaties de sleutel tot de verklaring van de vragen van het leven. Hij veronderstelde dat speeksel fermenten bevatte die met het voedsel werden ingeslikt. Voorts dat het nuttige deel van de voeding werd geabsorbeerd via de lymfvaten en de ductus thoracicus en aldus in de veneuze bloedstroom terecht kwam. Hij kende aan de lever dan ook geen centrale plaats toe.

*R. de Graaf* (1641-1673) verzamelde als eerste pancreassap.

*Sanctorius* (1561-1636) demonstreerde experimenteel dat van gegeten voedsel slechts een deel als urine en faeces wordt teruggewonnen. Er verdwijnt een groot deel via een proces van 'onvoelbare perspiratie'.

*Torricelli* (1608-1647) produceerde het eerste experimentele vacuüm.

*R. Boyle* (1627-1691) demonstreerde dat een dier, wanneer het in een vacuüm werd gebracht, zeer snel stierf. Evenzo ging een vlam van een kaars snel uit. Hij concludeerde dat niet alle lucht nodig of geschikt is voor respiratie maar slechts een deel ervan; lucht was dus niet homogeen.

*J. Mayow* (1641-1679) concludeerde dat lucht van zijn elastische krachten wordt ontdaan door het ademen van dieren of het branden van een kaars. Dieren en vuur verwijderen uit lucht dezelfde soort deeltjes. De lucht is vervolgens ongeschikt voor levende organismen.

*J. Black* (1728-1799) toonde aan dat kalk bij verhitting een gas produceerde, koolstofdioxyde. Later toonde hij aan dat hetzelfde gas ontstaat bij verbranding van steenkool en bij respiratie.

Verbranding en respiratie: identieke processen

*A.L. Lavoisier* (1743-1794) noemde het gas dat bij respiratie wordt verbruikt oxygen. Samen met Laplace rapporteerde hij ook over de hoeveelheid warmte die bij verbranding of respiratie vrijkomt in de vorm van gesmolten ijs in een ijscalorimeter. Zij concludeerden dat verbranding en respiratie in wezen identieke processen zijn en tevens dat de zuurstofconsumptie en dus de verbrandingssnelheid toeneemt met blootstelling aan koude, tijdens fysieke activiteit en na een maaltijd. Zij dachten dat de longen de plaats van de verbranding waren.

*J.L. Lagrange* (1736-1813) postuleerde echter dat verbranding of oxydatie in de bloedsomloop plaatsvindt in plaats van in de longen, waarbij koolzuur en water worden gevormd die vrijkomen uit het bloed wanneer het de longen binnentreedt.

*L. Spallanzani* (1729-1799) toonde aan dat de diverse organen zuurstof consumeren en koolzuur produceren. De organen vormen dus de plaats waar het metabolisme plaatsheeft en de gassen worden door het bloed alleen getransporteerd.

*T. Schwann* (1810-1882) ging nog een stap verder en beweerde dat de produktie van energie een gevolg was van cellulaire processen.

*E. Pflüger* (1829-1910) bewees definitief dat respiratie een cellulair proces is, van Protozoa tot de hogere dieren. De functie van bloed bestaat enkel uit het transporteren van zuurstof naar en koolzuur uit de weefsels.

Bloed als transportmedium

*J. Liebig* (1803-1873) grondvestte de organische chemie en zijn toepassingen op het gebied van landbouw en voeding. Hij veronderstelde dat de energie van dieren en hun warmte verkregen werd uit de chemische energie in hun voedsel. De bron van dierlijke energie is de wederkerige werking van de elementen van het voedsel en de zuurstof die door het bloed naar elk onderdeel van het lichaam wordt getransporteerd.

*J.R. Mayer* (1814-1878) borduurde verder op het thema van de omzetting van chemische energie in voedsel tot lichaams- of fysische energie. Hij presenteerde ook een methode om via berekeningen het energie-equivalent, de calorie, af te leiden, dat wil zeggen de hoeveelheid energie die nodig is om 1 kg water een graad Celsius in temperatuur te doen stijgen. Het mechanisch equivalent is de hoeveelheid energie die nodig is om een massa van 1 kg 425 m op te heffen.

*J.P. Joule* (1818-1899) concludeerde eveneens dat diverse vormen van energie equivalent waren.

1 calorie = 4,2 joule

*H. Helmholtz* (1821-1894) kwam in dezelfde tijd eveneens tot de conclusie van de wet van het behoud van energie en van de transformatie van verschillende vormen van energie.

*V. Regnault* (1810-1878) bouwde een soort respiratiekamer en deed talrij-

ke proeven met zeer uiteenlopende diersoorten. Hij vond dat het zuurstofverbruik tussen dieren sterk kan variëren per eenheid lichaamsgewicht bij dezelfde lichaamstemperatuur. Een relatief groter lichaamsoppervlak zorgt voor een afkoelingseffect.

*E. Smith* (1819-1874) experimenteerde met gevangenen die een verschillende werkintensiteit ondergingen. Koolzuurproductie nam toe met toeneming van de spierarbeid. Ureum in de urine was sterk gerelateerd aan de stikstofconsumptie maar niet aan de werkintensiteit. Spieren verbranden dus vrijwel alleen stikstofvrij substraat. Hij was een der eersten die, op grond van wetenschappelijke inzichten, gevraagd werd advies uit te brengen over de wenselijke samenstelling en omvang van de voeding van arme Engelse fabrieksarbeiders. Dit leidde tot de eerste voedingssurveys in de moderne tijd (1862). Diverse onderzoekers, waaronder Voit, Traube, Fick en Wislicenus zouden in de volgende jaren onomstotelijk bewijzen dat spierarbeid niet ten koste gaat van spiereiwit, een opvatting van Liebig, die hij tot 1870 zou volhouden. Voit construeerde in 1866 de eerste tabel met energiewaarden van voedingsmiddelen. In 1863 berekenden Pettenkofer en Voit dat de energetische waarde van 100 g vet equivalent was met die van 175 g koolhydraten. Dit is het concept van de isodynamie.

Spierarbeid kost geen spiereiwit.

*M. Rubner* (1854-1932) bepaalde de equivalentie van 100 g vet met resp. 232 g zetmeel, 234 g rietsuiker of 211 g gedroogd vlees (eiwit). Door directe en indirecte calorimetrie werd definitief de wet van behoud van energie bewezen.

*W.O. Atwater* (1844-1907) was de eerste die calorimetriestudies uitvoerde met proefpersonen, zowel in rust als werkend. Tevens voerde hij analyses uit van voedingsmiddelen en bestudeerde hij de voedingswaarde van Amerikaans voedsel. Hij verrichtte ook surveys onder de bevolking in de Verenigde Staten.

De vraag hoe voedsel in het lichaam wordt geassimileerd bleef intussen vele onderzoekers boeien. In de 18e eeuw werd erkend dat plant en dier chemisch principieel niet verschillen. Boerhaave (1668-1738) doceerde te Leiden dat er geen essentieel verschil was tussen plant en dier: 'het lichaam van dieren is niets anders dan getransmuteerde planten'. Lavoisier toonde aan dat koolstof, waterstof, zuurstof en stikstof de voornaamste elementen waren van alle levende materiaal. Hij stelde voorts dat deze elementen basaal waren, dat wil zeggen, niet afbreekbaar tot eenvoudiger elementen. Daarnaast kwamen fosfor en zwavel, zij het maar zelden, voor. Plantaardig voedsel zou via een proces, animalisatie genaamd, worden getransformeerd tot dierlijk weefsel. Hierbij zou stikstof ten koste van koolstof worden ingebouwd. De stikstof zou via respiratie worden verkregen (Berthollet en Fourcroy, circa 1785).

*F. Magendie* (1783-1855) voerde systematisch experimenten met proefdieren uit. Hij demonstreerde dat eiwit essentieel is in de voeding voor honden, konijnen en cavia's om te overleven.

*J.B. Boussingault* (1802-1887) bestudeerde de toepassing van chemie op

landbouw- en veeteeltproblemen. Hij was de eerste die balans-experimenten met dieren uitvoerde, sommige tot drie maanden lang. Hij toonde aan dat zelfs het stikstofarme voer van een planteneter voldoende stikstof levert om in balans te blijven en dat bij het mesten van varkens zetmeel wordt omgezet in vet.

Lichaamsvet gevormd uit zetmeel

*W. Prout* (1785-1850) demonstreerde in 1824 dat maagsap zoutzuur bevat. Zijn belangrijkste bijdrage aan de voedingsleer was de classificatie van voedingsbestanddelen in drie klassen, de suikerachtige, de vetachtige en de eiwitachtige, naast de waterige. Hij liet zich hierbij inspireren door de samenstelling van melk als prototype van een voedingsmiddel.

*G.J. Mulder* (1802-1880), geboren en opgeleid in Utrecht, heeft belangrijk bijgedragen aan de kennis hoe eiwit uit de voeding zou kunnen worden omgezet tot lichaamseiwit. Op grond van chemische analyse concludeerde hij tot een grote mate van uniformiteit tussen de diverse eiwitbronnen. Slechts in P- en S-gehalte waren er enige verschillen. Daarom veronderstelde hij dat alle eiwitten basaal waren opgebouwd uit proteïne in combinatie met wisselende hoeveelheden P of S. Aldus is er ook geen principieel onderscheid tussen plantaardig en dierlijk eiwit.

*J. Liebig* (1803-1873) verdeelde de voedselbestanddelen in stikstof- en geen stikstofhoudende bestanddelen. De eerste kunnen tot bloed worden gevormd. De laatste niet en dienen enkel het respiratieproces. De eerste omvatten de eiwitten en proteïnen en zijn als het ware vóórg gevormd. Zij vereisen weinig chemische omzettingen meer, maar moeten wel regelmatig worden opgenomen met de voeding vanwege de continue afbraak van lichaamsweefsels. Vooral spierarbeid leidt tot een versnelde spierafbraak! Afbraakproducten zijn ureum en urinezuur. De koolstof wordt verbrand tot koolzuur. Indien de afbraak van stikstof-bevattend weefsel onvoldoende koolstof en waterstof levert voor respiratie moet het deficit worden aangevuld door de respiratoire elementen: suiker en vet.

*C. van Voit* (1831-1908) onderzocht samen met Bisschoff en later met Pettenkofer eiwitbalansen onder tal van verschillende omstandigheden. Zijn sterkte lag vooral in de combinatie van voedingsbalans- en respiratietechnieken. Zij vonden onder andere dat koolhydraten en vetten eiwitsparend kunnen werken en dat lichamelijke arbeid niet leidt tot grotere stikstofverliezen, maar wel tot een intensievere gaswisseling. Zij rekenden af met het primaatschap van eiwit in de voeding: eiwit is niet de enige lichaamsvormende component. De vorming van weefsels vereist ook water en asbestanddelen (mineralen). Merkwaardig was wel dat Voit de energieleverende functie van voedsel volledig buiten beschouwing laat. Zelfs koolhydraten en vetten hebben alleen tot functie de eiwitafbraak te voorkomen. Rubner, de opvolger van Voit, zou juist de energiebalans centraal stellen in zijn metabolisme-onderzoek.

*C. Bernard* (1813-1879) was van mening dat de experimenten van Voit c.s. niet veel leerden over wat er werkelijk in het lichaam plaatshad. Tussen ingestie en excretie lag het werkelijke proces dat hem interesseerde. Hij vond met name dat bloedsuiker niet alleen afkomstig was van het voedsel maar ook van de lever. De lever produceert zelfs nog suiker na de dood van

de donor, maar niet nadat deze gekookt is. De lever bezit dus een glycogene stof. Hij gebruikte voor het eerst de term interne secretie. De lever heeft nu tenminste twee functies: een om gal uit te scheiden en de ander om suiker in het bloed af te scheiden. Essentieel was zijn conclusie dat het dierlijk organisme blijkbaar in staat is voedingsstoffen te vormen en niet alleen maar af te breken wat planten hadden gemaakt, hetgeen de opvatting tot dan toe was.

Deze vaststelling zal verreikende gevolgen hebben: voeding werd meer dan enkel de vervanging van versleten bestanddelen; het werd een complex geheel van transformaties en syntheses. Voedsel werd onderworpen aan afbraak en synthese alvorens te worden ingebouwd in weefsels. De nieuwe rol voor bloed als regelend medium leidde tot de nieuwe term 'milieu intérieur' en de constantheid hiervan bij hogere dieren, aldus de voorwaarden verschaffend voor het juist functioneren van cellen.

*R. Schoenheimer* (1898-1941), gebruik makend van het stabiele isotoop deuterium toonde aan dat er een labiel, dynamisch evenwicht is tussen het cellulaire milieu en het bloed. Bestanddelen van voedsel en uit cellen wisselen voortdurend met elkaar uit, ieder met een eigen typische snelheid. Hij stelde het concept van metabole regeneratie en van metabole 'pools' voor. De constantheid van het lichaam is in feite een tere balans van chemische reacties en uitwisselingsprocessen. Alles, inclusief structurele componenten, is in een voortdurende stromingstoestand. Metabolisme moet worden beschouwd als een proces dat leidt tot een dynamisch evenwicht van lichaamsstructuren.

*O. Folin* (1867-1934) onderscheidde twee compartimenten in de eiwitstofwisseling. De ene was de weefsel- of endogene stofwisseling, de ander de exogene stofwisseling. Van de eerste zijn de creatinine en het urinezuur in de urine een reflectie. Hiervoor ontwikkelde hij calorimetrische analysemethoden. Voor de laatste is ureum een maat.

Hoewel zijn concept te eenvoudig was en in zeker opzicht zelfs verkeerd, is het, samen met het werk van Schoenheimer, de basis geweest voor een manier van denken die heeft geleid tot begrippen als turnover, metabole pools, halveringstijden, en het concept van de homeostase, waarbij het lichaam zich aanpast aan grotere of kleinere toevoer of afvoer via een verandering van metabole routes. Homeostasis kan worden gehandhaafd op verschillende niveaus.

### **Eiwitkwaliteit**

In de loop van de negentiende eeuw werden door diverse onderzoekers afzonderlijke aminozuren ontdekt, bijvoorbeeld glycine, leucine, tyrosine, glutaminezuur, asparaginezuur, serine. Methionine (1922) en threonine (1935) volgden veel later. De vraag werd opgeworpen wat de voedingsconsequenties zouden zijn van de verschillende samenstelling van zaden en

dergelijke. Voit had ook waargenomen dat van vlees minder nodig was om in stikstofbalans te blijven dan van granen of aardappelen.

Willcock en Hopkins demonstreerden als eersten in 1906 dat zeïne, het eiwit uit maïs, ratten slechts twee weken overleving toestond. Werd tryptofaan toegevoegd, dan leefden ze tweemaal zo lang. Dit was het eerste bewijs voor de essentialiteit van een aminozuur. Een voedingstekort behoefde dus niet enkel kwantitatief van aard te zijn, het kon ook een kwalitatieve oorzaak hebben. De eerste systematische onderzoeken in deze richting werden uitgevoerd door Osborne en Mendel in de Verenigde Staten in het eerste kwart van de twintigste eeuw. Zij gaven albinoratten gezuiverde rantsoenen met steeds eiwitten uit één bron. Zij konden vaststellen dat: 'de relatieve waarde van de verschillende eiwitten in de voeding is gebaseerd op het gehalte van die aminozuren die niet door het organisme kunnen worden gesynthetiseerd en die onmisbaar zijn voor bepaalde, hoewel nog slecht gedefinieerde, processen die we aanduiden als onderhoud en herstel'. Zij ontwikkelden later een kwantitatieve maat voor de eiwitkwaliteit, de protein efficiency ratio (toename van het lichaamsgewicht in grammen per 1 g eiwit).

W.C. Rose tenslotte, in een serie experimenten met mengsels van zuivere aminozuren, stelde de behoefte aan de afzonderlijke aminozuren vast en verdeelde deze in essentiële en niet-essentiële. K. Thomas in Berlijn deed een groot aantal studies op zichzelf en voerde de term 'biologische waarde' in; dit is de procentuele benutting door het lichaam van geabsorbeerde stikstof (1909).

Wat nog miste was een maatstaf om verschillende eiwitten aan te kunnen refereren: een aminozuurmengsel met maximale beschikbaarheid ten aanzien van vertering en stofwisseling. De eiwitten van het ei werden als zodanig beschouwd. Dit opende de weg tot het berekenen van de 'chemische waarde', dat wil zeggen de laagste procentuele score voor een aminozuur in het te onderzoeken eiwit ten opzichte van het referentie-eiwit. Er bleek een vrijwel perfecte correlatie te bestaan tussen de biologische waarde, de PER-waarde en de chemische waarde voor afzonderlijke eiwitten.

Referentie-eiwit

### Voedingsaanbevelingen

Op basis van wat bekend was geworden in de loop van de negentiende eeuw werden er pogingen in het werk gesteld een goede of adequate voeding te formuleren. J. Pereira in Engeland schreef in 1843 zijn *Treatise on food and diet*. Hij was niet tevreden met de indeling van Prout in suiker, vet en eiwit. Hij oordeelde dat bijvoorbeeld zouten hierdoor buiten beschouwing zouden blijven, evenals de mysterieuze krachten van limoenen die zo werkzaam bleken tegen scheurbuik. Hij kwam tot niet minder dan twaalf voedselgroepen en stelde voorts, geheel in strijd met Liebigs opvattingen, dat nauwkeurig waarnemen en experimenteren het bewijs hebben geleverd dat het een absolute vereiste is aanzienlijke variatie aan te brengen in de voeding uit een oogpunt van gezondheid en behoud van het leven. Een

adequate voeding diende tenminste dertien elementen te bevatten: C, H, O, N, S, P, Cl, Ca, Na, K, Mg, Fe en F. Het gebruik van groente en fruit werd door hem noodzakelijk geacht gezien de treurige ervaringen met gezouten vlees en scheepsbeschuit.

De Weende-analyse

Op het landbouwproefstation van Weende, bij Göttingen, werd een systeem voor de analyse van voedings- en voedermiddelen ontwikkeld. Dit leverde als bestanddelen op: vocht, ether-oplosbaar materiaal (vet), ruw eiwit (N x een factor 6,25), ruwvezel (cellulose en lignine), as en, bij verschil, koolhydraten. Er werd van uitgegaan dat wat in het ene voedingsmiddel als zodanig werd bepaald, dezelfde voedingswaarde had als wat werd bepaald in een ander voedingsmiddel. Dit staat nog steeds bekend als de Weende-analyse.

Diverse voedingsaanbevelingen werden gebaseerd op wat feitelijk een gebruikelijke voeding was, in plaats van op fysiologische behoeften. G.J. Mulder stelde in Nederland in 1847 een voedingsaanbeveling op, gebaseerd op de rantsoenen in het leger. Deze kwam neer op circa 100 g eiwit per dag voor een arbeider. Veel minder, circa 60 g werd voldoende geacht voor iemand met licht werk. In Engeland gaf Playfair als aanbeveling: 71 tot 184 g eiwit; 28 tot 71 g vet en 340 tot 570 g koolhydraten, afhankelijk van de arbeid. Energetisch kwam dit neer op 1900 tot 3640 kcal. De hoge eiwit- en relatief lage vetgehalten zijn opmerkelijk en indiceren dat de gebruikelijke voeding in het midden van de negentiende eeuw niet bepaald vetrijk zal zijn geweest.

Smith, reeds eerder genoemd, beval voor de arbeiders in de katoenindustrie een energie-opneming aan van 2800 kcal, met 81 g eiwit. Voor vrouwen waren deze getallen respectievelijk 2650 en 77.

Voit baseerde zijn aanbevelingen op wat hij frequent onder Duitse arbeiders had waargenomen: 118 g eiwit, 500 g koolhydraten en 56 g vet, uitkomend op 3000 kcal. Voor zwaar werk werd de eiwitbehoefte verhoogd tot 145 g. Atwater stelde de eiwitbehoefte op 125 g. Pas door onderzoek van Chittenden (1856-1943) in Yale durfde men de eiwitbehoefte veel lager te stellen: 50-55 g per dag.

### Het vitaminetijdperk

Rond de eeuwwisseling leefde de gedachte dat met de kennis omtrent de macro-bestanddelen van de voeding het mogelijk zou zijn zich adequaat te voeden. De voorspelbaarheid van belansexperimenten droeg niet weinig bij aan deze opvatting. Echter, deze experimenten duurden doorgaans niet lang en de voeding bestond meestal uit natuurlijke produkten.

Niettemin had Pereira gewaarschuwd voor eenzijdige voeding en een pleidooi gehouden voor variatie en speciaal voor groente en fruit die hij onmisbaar achtte voor een goede gezondheid. Nog duidelijker had G. Budd in 1842 reeds geschreven over ziekten die mogelijkwijs ontstonden als gevolg van een voedingstekort. Hij schreef dat 'accessory food factors' onmisbare componenten waren van normale rantsoenen en dat duidelijk

definieerbare deficiëntieziekten het gevolg waren van hun afwezigheid. Hij wees op drie duidelijke beelden: scheurbuik, cornea-ulceratie en weekheid of onvolledige ontwikkeling van botten. Cornea-ulceratie werd frequent gezien op een voeding van uitsluitend rijst en kon worden genezen door een dieet met melk, eieren en vis. Ook Lunin concludeerde op grond van experimenten met ratten dat, naast eiwit, vet, suiker, zouten en water, er in melk andere bestanddelen zitten die onmisbaar zijn in de voeding.

'Accessory food factors': essentiële bestanddelen van de voeding

In 1886 stuurde de Nederlandse regering een commissie naar Oost-Indië om de oorzaak van beriberi te onderzoeken. Pekelharing en Winkler die de commissie vormden bezochten eerst de beroemde Koch in Berlijn omdat men in die tijd algemeen dacht aan een bacterie, een kiem, als oorzaak van de beriberi. In Berlijn ontmoetten zij Eijkman die hen later vergezelde. In Indië meenden zij een micro-organisme te hebben gevonden dat de verschijnselen kon opwekken. Pekelharing keerde naar Nederland terug en begon in Utrecht een serie proeven met muizen. Hij voerde deze een brood, gemaakt van caseïne, albumine, rijstemeel, reuzel en mineralen. De muizen verloren hun eetlust en gewicht en stierven na circa vier weken. Als ze echter in plaats van water melk te drinken kregen bleven ze in uitstekende gezondheid. Ook kaaswei bleek volledig effectief. Zijn conclusie was dat melk een tot nu toe onbekende stof bevat die, zelfs in zeer kleine hoeveelheden, van uitzonderlijk belang is voor de voeding. Deze stof bevindt zich ongetwijfeld niet alleen in melk maar in allerlei voedingsmiddelen, zowel van plantaardige als dierlijke oorsprong. Pekelharing publiceerde zijn resultaten in 1905, echter in het Nederlands! Inmiddels was Eijkman in Indië verder gegaan met zijn onderzoek naar de oorzaak van beriberi en concludeerde dat in het voedsel, vooral in gepolijste rijst, een neurotoxine aanwezig moest zijn. Hij postuleerde voorts dat in het pericarp van de rijst een beschermende stof aanwezig moest zijn die het neurotoxine neutraliseerde. In 1896 keerde Eijkman naar Nederland terug en Grijns continueerde het onderzoek. Onder andere door aan te tonen dat de ziekteverschijnselen ook konden worden opgewekt door vlees dat lange tijd op 120 °C was verhit, te voeren postuleerde hij tenslotte in 1901 dat humane beriberi en polyneuritis gallinarum werd veroorzaakt door 'partiële honger' of de deficiëntie van een beschermende factor. Hij noemde deze 'beschermende stoffen'. Veel indruk maakten deze bevindingen niet. Het was, in deze bloeiperiode van de 'germ-theorie' voor ziekten, moeilijk te accepteren dat de afwezigheid van een factor ziekte veroorzaakte en dat iets verwijderen uit voedsel schadelijk kon zijn.

Beriberi: een gebrekziekte

*F.G. Hopkins* (1861-1947) concludeerde in 1906 op grond van eigen experimenten en literatuur dat er veel 'minor factors' in alle voedingen aanwezig zijn waar het lichaam gebruik van maakt en die voor een goede gezondheid essentieel zijn, zoals in het geval van scheurbuik en rachitis. Hij ontdekte het aminozuur tryptofaan. Daarnaast leidden zijn experimenten met ratten tot het idee dat in melk zich organische complexen bevinden waarvan de aanwezigheid in zeer kleine hoeveelheden eerder wijst op een katalytische werking (1912).

*C. Funk* (1884-1967) isoleerde de anti-beriberifactor en concludeerde

dat het een pyrimidine was. Hij suggereerde de naam vitamine. In 1912 publiceerde hij zijn hypothese dat er tenminste vier vitamines bestaan: tegen beriberi, pellagra, scheurbuik en rachitis. Deze ziekten ontstaan niet als gevolg van intoxicaties maar als gevolg van tekorten van bepaalde organische basen. Een eenzijdige voeding is vaak de oorzaak. Aangezien vitamines geen massa-werking kunnen hebben, werken ze eerder als fermenten of als hormonen.

*E.V. McCollum* (1879-1967) nam waar dat ratten 10 tot 17 weken goed groeiden op een rantsoen met olijfolie of reuzel. Maar langer niet. Deze groeistoornis kon worden opgeheven door boter of eieren te suppleren. Ook Osborne en Mendel namen dit effect waar. Tevens zagen zij blindheid bij de dieren ontstaan. Zij stelden de hypothese op dat in vet een vet-oplosbare factor A aanwezig is die bij een tekort een deficiëntie veroorzaakt. De water-oplosbare factor in rijst die beriberi kon voorkomen werd factor B genoemd. De factor uit groenten en fruit die scheurbuik bij cavia's kon voorkomen werd water-oplosbare factor C genoemd.

*E. Mellanby* (1884-1955) ontdekte dat voor normale calcificatie van bot eveneens een vet-oplosbare factor uit boter of levertraan nodig was. Hij noemde deze echter ook vet-oplosbare factor A. McCollum wist een onderscheid met het originele A te vinden door levertraan te oxyderen. De A-activiteit was verdwenen en wat bleef was D.

Tot aan Wereldoorlog II zouden de overige van de dertien thans bekende vitamines worden geïdentificeerd, geïsoleerd, gekarakteriseerd en voor het merendeel gesynthetiseerd. Uit deze periode stamt ook de grote waarde die aan produkten als melk en vlees wordt toegekend in de voeding. Immers, zij vormen een rijke bron van een scala vitamines. In het dierexperiment bleken zij vaak een sterk positieve werking te bezitten ten opzichte van eenvoudiger rantsoenen.

Als wetenschappelijke benadering bleek vaak de combinatie van epidemiologische waarneming, klinische observatie en (dier)experimenteel onderzoek de basis voor het succesvol opsporen van nieuwe vitamines en mineralen. Het is deze combinatie van wetenschappelijke methoden die ook onmisbaar is gebleken bij het ontrafelen van de na-oorlogse problemen op het gebied van de voeding, met name de rol van voeding bij het ontstaan van chronische ziekten als coronaire hartziekten, kanker, osteoporose, diabetes, cariës. Ook de vorderingen op gebieden als biochemie en moleculaire biologie hebben hier aanzienlijk toe bijgedragen.

De methoden in het voedingsonderzoek

### Literatuur

- Guggenheim, K.Y., *Nutrition and Nutritional Diseases; the evolution of concepts*. The Colamere Press, Lexington Mass., 1981.
- Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Energy and Protein Requirements. *WHO Techn. Rep. Ser. 724*. WHO, Genève, 1985.
- McCollum, E.V., *A history of Nutrition*. Houghton Mifflin Co, Boston, 1957.
- Velazquez, A. en H. Bourges (red.), *Genetic Factors in Nutrition*. Academic Press, Orlando, 1984.