M. oct.
719

SCHETSEN UIT HET LEVEN.

M 8° 719

SCHETSEN

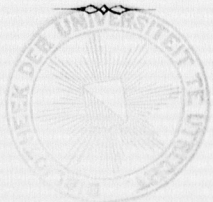
UIT

HET LEVEN,

DOOR

DR. D. HUIZINGA.

MET AFBEELDINGEN.



HAARLEM,
KRUSEMAN & TJEENK WILLINK.
1877.

Gedrukt bij Gebr. van Asperen van der Velde, te Haarlem.

INHOUD.

Het bloed ..... Bz. 5

Het hart ..... „ 31

Het zenuwstelsel en de bloedstroom ..... „ 57

De ademhaling ..... „ 81

Over spijsvertering en voeding ..... „ 123

SCHETSEN UIT HET LEVEN.

DOOR

DR. D. HUIZINGA.

SCHETSEN UIT HET LEVEN.

"Zitting der Akademie van Wetenschappen te *** den ***

"De heer X doet verslag van de volgende proef:

"Twaalf padden wegende *** onsen werden gedaan in een retort, "waaraan een ontvanger verbonden was. Bij de verhitting van de "retort ontwikkelde zich een groote hoeveelheid van een dichten witten "damp en in den ontvanger verzamelde zich, door verdichting van "dezen damp, een donkere dikke olieachtige vloeistof, boven welke "een dunne waterige vloeistof stond. Beiden waren onaangenaam van "reuk en smaak. De olieachtige vloeistof woog *** onsen, de wate- "rige vloeistof *** onsen, het in de retort teruggeblevene woog *** "onsen."

Een wonderlijke proef, niet waar? die al heel weinig beteekent. Zoo weinig zelfs dat wij bijna geneigd zouden zijn te vragen of het geheele verhaal geen gefantaseerde charge is, of, zoo het al werkelijk gebeurd is, niet behoort tot de rubriek kwajongenswerk?

Geen van die beide onderstellingen zou juist zijn; de medegedeelde proef is werkelijk gedaan en niet door kinderen, maar door de eerste mannen hunner eeuw. Vul in de ruimte, die ik daar straks voor den plaatsnaam openliet, het woord "Parijs" in, en voor den datum een of anderen dag van 1680 of daaromtrent, en gij hebt een proef zoo als ge ze in de zittingsverslagen der toen pas opgerichte Academie des Sciences herhaaldelijk kunt vinden. Uit dergelijke proeven bestond met enkele uitzonderingen de physiologische chemie dier dagen.

Het zou de onzinnigste waanwijsheid zijn, daarom op de mannen die op die wijze het raadsel des levens poogden op te lossen, met glimlachend schouderophalen neêr te zien; wij integendeel mogen blij zijn als niet onze hedendaagsche proeven een dergelijken wonderlijken indruk maken op ons nageslacht van over twee eeuwen.

Want zulk een proef paste volkomen in het kader der beschouwingen van dien tijd. Men had ingezien, dat waarneming en bespiegeling niet voldoende waren om iets wat levenswetenschap heeten mocht te grondvesten, dat proefneming daartoe boven alles werd vereischt. Dat inzicht was zulk een belangrijke vooruitgang, dat het waarlijk den mannen der zeventiende eeuw niet als schuld mag worden toegerekend, als hun proefneming niet terstond den rechten weg insloeg. Men was nog niet voldoende tot het besef gekomen van de samengesteldheid van het natuurverschijnsel dat wij leven noemen en men meende dat dat verschijnsel met zich liet experimenteeren zonder voorafgaande ontleding. Daarin lag de fout van zulk een proef, daarin de oorzaak dat ze nu op ons, ook al zijn we geen natuuronderzoekers van beroep, een vreemden indruk maakt. Hoe meer samengesteld een verschijnsel is, des te meer noodzakelijk zal het zijn, bij het wetenschappelijk onderzoek daarvan, het zooveel doenlijk te splitsen in zijn bestanddeelen en die afzonderlijk te bestudeeren. Eerst na die afzonderlijke studie kan er sprake zijn van een bevredigende theorie van het samengestelde verschijnsel. Er zijn natuurwetenschappen die in meerdere of mindere mate tot zulk een theorie genaderd zijn, waarvan men dus een "systeem" zou kunnen samenstellen. Met de levenswetenschap echter is dat nog op verre na het geval niet. In den tijd der natuur-philosophie in het begin dezer eeuw mocht het gerechtvaardigd schijnen een werk te betitelen "System der Biologie" [1]; — thans zien we in, dat hetgeen we van het leven weten op den titel "systeem" nog geen aanspraak mag maken, en dat het hoogstens kan zijn een meer of minder innige aaneenschakeling van meer of minder volledig bestudeerde hoofdstukken.

Korte schetsen van eenige goed bekende hoofdstukken hoop ik hier te geven, zonder dat ik echter daarbij het cement kan geven, dat de afzonderlijke bouwsteenen verbindt tot een muur uit één stuk. Niet dat ik het cement achterwege houd, maar het bestaat nog niet. Of wilt ge een andere en juistere vergelijking: ik zal u geven een stuk wortel, een stuk schors, een stuk hout, misschien ook een blad of een bloem, maar daarom is het nog niet in mijne macht, u te geven den boom des levens.

[1] OKEN.

HET BLOED.

We kunnen ons niet zooals de plantkundige er op beroemen, de "scientia venusta", de bevallige wetenschap, te bestudeeren, wij die terstond moeten beginnen met iets huiveringwekkends, iets "akeligs" als bloed.

Waarom vinden we bloed akelig? Is er in dat prachtig roode vocht op zich zelf iets wat ons onaangenaam aandoet? 't Schijnt haast zoo. Want het kind dat juicht op het zien van een rood lintje, loopt angstig weg, als het soms toevallig een aderlating ziet, of staart in stommen schrik op den hoog opspattenden straal. En een andermaal wordt datzelfde kind door een onweerstaanbare aandrift gedrongen om voor het slachthuis stil te staan, ofschoon (liever omdat) hem een rilling over den rug gaat als hij het rookende bloed ziet gudsen.

Het akelig vinden van bloed heeft niets gemeen met walging; wij vinden bloed (om het eens trivaal uit te drukken) niet vies; 't is een geheel andere gewaarwording die het in ons opwekt, een donker bewustzijn, ook bij het kind en den onwetende, van wat MEPHISTO uitdrukte door zijn: Blut ist ein ganz besondrer Saft.

Gelijk overal, waar wij ons rekenschap trachten te geven van ons vinden, zoo staan wij ook hier voor iets wat misschien evenveel een erfstuk is van onze voorouders, als een product van onze eigen ervaring. We kunnen ons een groep van onze wilde vaderen uit den steentijd denken, peinzend staande rondom hun stervenden metgezel die doodelijk werd gewond in den strijd met den mammoeth of den holenbeer. Ze zien hoe naarmate het roode levensvocht wegvloeit, het lichaam daar voor hen minder levend wordt, tot dat eindelijk

het leven geheel geweken is; hoe naarmate de eerst hoog spattende straal tot steeds zwakkere golfjes daalt, het warme bewegelijke lichaam koud en stijf wordt. Dan doemen er in die onontwikkelde hersenen allerlei voorstellingen op omtrent het verband tusschen bloed en leven. Volgende geslachten nemen die voorstellingen over, en bouwen er verder op voort. En zoo wordt het langzamerhand een van die "uralte Räthsel" waarvan Heine zingt:

> Worüber schon manche Häupter gegrübelt,
> Häupter in Hieroglyphenmützen,
> Häupter im Turban und schwarzem Barett,
> Perrückenhäupter und tausend andere
> Arme schwitzende Menschenhäupter.

De kern van al die Grübeleien is de geheimzinnige beteekenis van het bloed als levensvocht. Zie slechts de breede litteratuur van het bloed-bijgeloof uit vroeger en later tijd, en let op de groote rol die het bloed van oudsher speelde in allerlei religieuse ceremoniën. En het zou niet moeielijk zijn nog in de godsdiensten van den tegenwoordigen tijd de sporen van dat oude bloed-bijgeloof terug te vinden. Een ander overblijfsel daarvan in het dagelijksch leven is het akelig vinden van bloed.

Maar niet alleen de overgeërfde voorvaderlijke voorstellingen, ook onze eigen individueele ervaring speelt hierbij een groote rol. Het is voor ieder van ons een vreeselijk oogenblik geweest, een oogenblik trouwens dat we allen reeds lang vergeten hebben, waarop we voor het eerst de ervaring maakten dat in ons eigen lichaam bloed aanwezig was. Stellen we ons voor een kind, dat dat nog volstrekt niet weet, dat evenmin verwacht bloed te zien vloeien uit zijn huid als het dat verwacht uit een appel. Het heeft wel reeds eenige kennis gemaakt met zijn lichaam, het kent zijn lichaamsdeelen en kan die ook reeds eenigermate gebruiken. Daar valt hem onder het spelen een mes of schaar in 't oog. Hij grijpt naar het aanlokkelijk blinkend staal. Een enkele onvoorzichtige beweging, — en verschrikt laat hij het mes weer vallen. Een pijnlijke trek plooit zijn mond; — maar nauw ziet hij den rooden druppel uit zijn huid te voorschijn treden, of een kreet van ontzetting ontsnapt hem. De pijn van het onbeduidende wondje is spoedig gestild, maar als het toevallig weer begint te bloeden, dan

volgt er weer een nieuw geschrei, niet van pijn maar van schrik. Eerst langzamerhand verliest voor het kind het te voorschijn komen van bloed uit zijn eigen lichaam het schrikwekkende, dat het oorspronkelijk bezat.

Maar voor ons, die in verstandelijke ontwikkeling niet meer staan op het standpunt noch van het kind noch van den wilde, is het bloed niet meer een voorwerp van phantastische speculatie of van huiverende ontzetting. Wij willen *weten* wat dat wonderbaar levensvocht is. En waarlijk, ons weten zal in dezen het verheffende van onze natuurbeschouwing niet schaden en onze bewondering geen afbreuk doen.

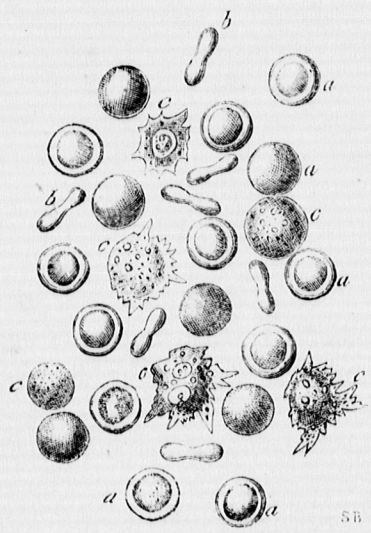
Bij de studie van elk natuurverschijnsel betreedt men gewoonlijk eerst den weg van waarneming en daarna zooveel mogelijk dien van proefneming. Wij zullen bij onze beschouwing daarvan niet afwijken. Zonder kunstmatige hulpmiddelen geeft ons echter de waarneming van het bloed niet veel; met het bloote oog merken we er niet anders aan op dan dat het een helder roode ondoorschijnende vloeistof is. Doch dat laatste kan ons omtrent het bloed reeds dit leeren, dat het niet enkel een vloeistof is, maar dat er vaste deeltjes in moeten aanwezig zijn, die het licht beletten door het bloed door te dringen.

Iets naders omtrent de samenstelling van bloed leert ons eerst het mikroskoop. Een naaldenprikje in den vinger verschaft ons materiaal in overvloed. Een drupje zoo klein mogelijk en met een passende vloeistof (niet met water) verdund, levert ons een beeld zooals in de hierachter geteekende figuur (Zie fig. 1 bl. 8). Wij zien een aantal ronde gele kringetjes *a* drijven in het kleurloos vocht, en als door een of andere strooming in 't dunne laagje bloed die kringetjes gaan rollen, dan zien we, dat we niet met bolvormige deeltjes te doen hebben, maar met schijfjes, en wel met schijfjes die in het midden dunner zijn dan aan den omtrek, die van weerszijden zijn uitgehold en dus ongeveer den vorm hebben van een holle lens (*b*).

Die gele schijfjes zijn bloedcellen. Met het woord "cel" namelijk duiden we aan de kleinste op zich zelf bestaanbare deeltjes van een levend lichaam, waaraan we levensverschijnselen (zelfstandigheid, groei, stofwisseling, beweging, voortplanting) kunnen aantoonen. Onze bloedschijfjes nu zijn, zooals straks blijken zal, de dragers van zeer be-

langrijke levensverschijnselen; van daar hun recht op den naam van cellen.

Fig. 1.



Bloedcellen van den mensch, 750 maal vergroot. *a*. Gele (roode) bloedcellen van de vlakte gezien. *b*. Dito van ter zijde gezien. *c*. Witte bloedcellen (hun aantal is, naar evenredigheid van dat der roode, veel te groot voorgesteld).

Ter onderscheiding van andere, die we straks zullen leeren kennen, heeten zij de roode bloedcellen, ofschoon zij zich onder het mikroskoop niet eigenlijk rood maar geel voordoen. Toch zijn ze de oorzaak van de roode kleur van het bloed. De verklaring daarvan is eenvoudig genoeg. Wij hebben hier te doen met een dergelijk verschijnsel als waardoor het zeewater in een glas kleurloos is, terwijl het de zee zelf een donker groene of blauwe kleur geeft. Evenzoo is een gewone vensterruit kleurloos als we er van de vlakte doorzien, maar duidelijk groen gekleurd, als we er zoo doorzien, dat het licht een dikke glaslaag doordringen moet om tot ons oog te komen. Zoo ook bij de bloedcellen. De roode kleurstof van het bloed is alleen in de cellen aanwezig en niet in de vloeistof, maar in zulk een kleine hoeveelheid en zulk een dunne laag, dat die kleurstof niet rood maar geel schijnt, gelijk de groene kleur van het glas in een dunne laag niet uitkomt. In het kleinste drupje bloed zijn echter de gekleurde cellen in zulk een hoeveelheid en zoo dicht opeengedrongen aanwezig, dat het reeds duidelijk rood schijnt.

De mogelijkheid daarvan wordt begrijpelijk als we nagaan hoe klein de bloedcellen zijn. De middellijn der schijfjes bedraagt niet meer dan $^1/_{125}$ millimeter en de dikte $^1/_{600}$ tot $^1/_{700}$ millimeter; 125 bloedcellen naast elkaar gelegd vormen dus een rijtje van een streep lengte en een stapel van 700 bloedcellen is eerst een streep hoog.

Nog beter denkbeeld kunnen we ons wellicht maken van de geringe afmetingen der bloedcellen, als we bedenken dat in een kubieke millimeter bloed, dus een drupje ongeveer zoo groot als een spelden-

knop, vier à vijf millioen van die cellen aanwezig zijn. Een volwassen mensch heeft omstreeks vijf liter bloed. Elke liter bevat een millioen kubieke millimeters, dus voor vijf liter vijf millioen. Dat geeft dus voor de totale som der bloedcellen in ons bloed, een getal van 25 met twaalf nullen er achter! Ook elders, dan in de financieele wereld, rekenen we met milliarden.

Maar, vraagt ge allicht, is dat werkelijk geteld? En ge voegt er misschien bij: welke monnikachtige rekenmeester is zoo met zijn tijd verlegen geweest?

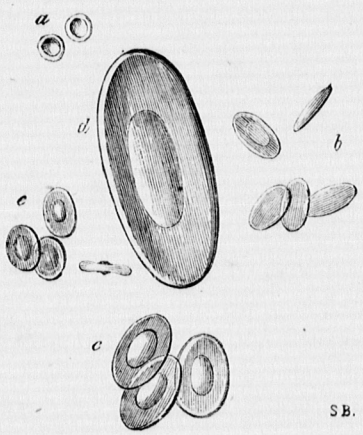
Geteld is het werkelijk, en monnikenwerk was het niet zoozeer als het wel scheen. 't Is waar, men heeft daartoe juist niet tot vijf millioen behooren te tellen; een veel geringer cijfer was voldoende. Men nam daartoe een zoo klein mogelijk volumen bloed, zoodat men het nog even nauwkeurig meten kon, en verdunde dat met een geschikte vloeistof, zoodat het volumen van het mengsel b.v. honderdmaal grooter was dan dat van het oorspronkelijk genomen bloed. Nu behoefde men van dat mengsel slechts een zeer kleine hoeveelheid af te meten en daarin de bloedcellen direct te tellen, om zoodoende door berekening het aantal cellen in het oorspronkelijke volumen bloed te vinden. Het zou wenschelijk zijn, dat er een minder omslachtige en zoo mogelijk meer nauwkeurige methode van tellen gevonden werd, want het aantal bloedcellen schijnt in verschillende toestanden vrij veranderlijk te zijn en de kennis van die veranderingen zou bij de studie dier toestanden niet zonder belang zijn.

Hetgeen tot nog toe omtrent vorm en afmeting der bloedcellen gezegd is, heeft in de eerste plaats betrekking op die van den mensch. Bij de meeste overige zoogdieren hebben ze denzelfden vorm en ook ongeveer dezelfde grootte. Het mag dus zeer gewaagd heeten om uit het mikroskopisch onderzoek te beslissen, of het bloed van een mensch of van eenig ander zoogdier afstamt, een vraag die in gerechtelijk geneeskundige gevallen zoude kunnen te pas komen.

Alleen bij de kameelen en lama's onder de zoogdieren zijn de bloedcellen geen ronde, maar elliptische schijfjes. Bij de overige klassen der gewervelden daarentegen is de vorm der bloedcellen verschillend van die der zoogdieren. Vooreerst zijn zij niet rond maar elliptisch, en ten andere niet uitgehold zooals een holle lens, maar van weerszijde opgezet als een bolle lens. Die verhevenheid ontstaat

doordat in die bloedcellen nog een ander lichaampje aanwezig is, en zoogenaamde kern, die in de zoogdier-bloedcellen ontbreekt.

Fig. 2.



Bloedcellen van verschillende dieren bij dezelfde vergrooting geteekend om 't verschil in afmetingen en vorm te doen zien.
a. Mensch. *b*. Duif. *c*. Kikker. *d*. Proteus. *e*. Visch.

Tevens zijn bij de vogels en de lagere gewervelden de bloedcellen grooter dan bij de zoogdieren. Hunne grootste afmetingen bereiken ze in de klassen der amphibiën; zoo heeft onze gewone kikker bloedcellen van $^1/_{40}$ millimeter middellijn (overlangs gemeten), terwijl bij sommige dieren met kolossale bloedcellen, zooals de *Proteus anguineus*, een salamanderachtig diertje uit de onderaardsche holen in Oostenrijk, de langste afmeting van die cellen $^1/_{20}$ millimeter en meer bedraagt.

Ons kijkje door het mikroskoop van zoo even heeft ons met den vorm der bloedcellen doen kennismaken, maar meer kon het ons daarover niet leeren. Zijn 't blaasjes of klompjes? Zijn ze hard of week? Bestaan ze uit een of meer stoffen? Dat alles zijn vragen die een nader onderzoek vereischen.

Het is, geloof ik, een zeer verbreide dwaling, wier ontstaan trouwens begrijpelijk is, dat men zich de bestanddeelen van het levend lichaam veel te stevig, te vast voorstelt. 't Is waar, er zijn weefsels in ons lichaam, beenderen, nagels, haren, opperhuid, pezen enz. die zonder eenigen twijfel vast en zeer vast mogen heeten; maar de voornaamste weefsels in ons lichaam, waarin de essentieele levensverschijnselen plaats vinden, zijn in den levenden toestand, zoolang zij niet door lijkverstijving gestold zijn, niet meer dan taaivloeibaar gelei achtig. Zoo is het ook met de levende bloedcel. Men kan zich zulk een cel bijna niet week genoeg voorstellen. Het best nog laat ze zich vergelijken bij een schijfje elastische rekbare gelei, zonder dat er aan dat schijfje iets van een omhullend vlies te bespeuren is. Enkele verschijnselen, die ons tot deze beschouwing recht geven, zullen straks nog ter sprake komen.

Bestaat nu dat geleiachtig schijfje uit een enkele stof, of uit meer? Op die vraag geven een aantal proeven een overeenstemmend antwoord.

Voeg bij een drupje bloed onder het mikroskoop water. Reeds spoedig ziet ge de bloedcellen rond worden, opzwellen en eindelijk verbleeken, zoodat ge op het eerste gezicht zoudt meenen, dat het water ze geheel had opgelost. Maar bij zeer nauwkeurig toezien blijkt het dat ze niet werkelijk opgelost zijn, maar als zeer bleeke, nauwlijks merkbare kringetjes in het vocht ronddrijven. Het water heeft er de roode kleurstof aan onttrokken en ze daardoor moeielijk zichtbaar gemaakt. Velerlei andere invloeden bewerken een dergelijke verandering, aether, chloroform, bevriezing, electrische ontladingen, enz. Dat alles bewijst ons dus, dat de roode bloedcel niet uit een enkele stof bestaat, maar dat ze bestaat uit een kleurlooze g r o n d s t o f en een roode k l e u r s t o f. Kleurstof en grondstof zijn in den normalen toestand innig met elkaar verbonden, zoodat de kleurstof niet in het omringende vocht uittreedt, maar aan de bloedcellen gebonden blijft. Op verschillende wijzen echter, en zoo ook door de bovengenoemde werkingen van water, enz. kan die verbinding worden opgeheven, de bloedcellen laten hun kleurstof los en worden ontkleurd.

Verreweg het belangrijkste bestanddeel nu van de bloedcellen is die roode kleurstof. Haar wetenschappelijke naam is h a e m o g l o b i n e, woordelijk vertaald: bloedbolletjes-stof. Die haemoglobine laat zich vrij gemakkelijk uit bloed bereiden, en wel daarom omdat zij zich uit hare oplossingen in kristallen afscheidt, die, als ze behoorlijk ontwikkeld zijn, zeer goed voor het bloote oog zichtbaar zijn als helder roode naaldvormige staafjes. Het is een zeer samengestelde stof, waarin als onontbeerlijk bestanddeel, onder meer, ook altijd ijzer aanwezig moet zijn. Wanneer men bloed verbrandt, dan heeft de terugblijvende asch een bruin roode kleur, ongeveer als ijzerroest. En in die asch laat zich door de gewone scheikundige herkenningsmiddelen een rijkelijke hoeveelheid ijzer gemakkelijk aantoonen. Dat ijzer van de bloedasch stamt alleen af uit de kleurstof van het bloed, want andere ijzerhoudende bestanddeelen zijn in het bloed niet aanwezig.

Zonder ijzer kan geen bloed-kleurstof bestaan. Vandaar het veelvuldig geneeskundig gebruik van ijzer of (zooals de dagelijksche uitdrukking luidt) van staal, in allerlei gevallen, waar men reden

heeft te vermoeden dat er gebrek is aan normale roode bloedkleurstof. Trouwens tot vorming van de gewone hoeveelheid haemoglobine is een zeer kleine hoeveelheid ijzer voldoende. In het bloed van een volwassen mensch is omstreeks 600 à 700 gram bloedkleurstof aanwezig, waarin 2,5 à 3 gram ijzer.

Het bekende voorstel dus, dat in de dagen der fransche revolutie in allen ernst gedaan werd, om uit het bloed van groote mannen ijzeren ringen en gedenkpenningen te laten vervaardigen die tot opwekking van het nageslacht zouden strekken, zou al daarom moeielijk uitvoerbaar gebleken zijn, omdat men voor een enkelen behoorlijken penning al licht een half dozijn groote mannen noodig gehad zoude hebben.

De roode bloedkleurstof speelt in het lichaam een hoogst gewichtige rol. Elk levend wezen moet zuurstof opnemen; zonder zuurstof is geen leven mogelijk. Bij de hoogere dieren heeft die opneming van zuurstof plaats in het bloed; het bloed komt in de longen of in de kieuwen met zuurstofhoudende lucht of zuurstofhoudend water in aanraking, en voorziet zich daaruit van den noodigen voorraad zuurstof. Maar die zuurstof moet verder komen dan in het bloed, ze moet in aanraking komen met de verschillende bestanddeelen der weefsels en door hare verbinding daarmede de stofomzetting bewerkstelligen, die noodzakelijk met alle levensverschijnselen gepaard moet gaan. De zuurstof moet dus niet alleen in de longen door het bloed worden opgenomen, maar ook aan alle weefsels waardoor het bloed stroomt worden afgegeven, aan spieren, klieren, zenuwweefsel enz.

De haemoglobine nu is een stof die gemakkelijk zuurstof opneemt. Brengen we een donker roode oplossing daarvan in een gesloten ruimte (b. v. in een klokje boven kwik) met zuurstof in aanraking, dan is na eenigen tijd een gedeelte zuurstof uit die ruimte verdwenen en door de bloedkleurstof opgenomen. En tevens zien we bij zulk een proef, dat de donker roode kleur van de haemoglobine-oplossing helder rood geworden is.

Die zuurstof, die op zulk een wijze door de bloedkleurstof is opgenomen, kan er even gemakkelijk aan worden onttrokken. Wij behoeven daartoe slechts bij het helder roode vocht een of andere stof te voegen, die begeerig zuurstof opneemt. Terstond zien we de hel-

der roode kleur weer donker worden, als bewijs dat de haemoglobine haar zoo even opgenomen zuurstof weer heeft laten varen. Zij is dan weer in staat een nieuwe hoeveelheid zuurstof op te nemen, waarbij de kleur weer helder rood wordt; die zuurstof kan op nieuw weer worden afgegeven, en zoo da capo in infinitum.

Hetzelfde wat wij aldus met haemoglobine-oplossingen of met bloed buiten het lichaam kunnen doen, heeft in het lichaam onophoudelijk plaats. In de longen neemt het bloed zuurstof op uit de lucht. Het daardoor helder rood geworden bloed stroomt naar het hart en wordt daardoor in de slagaderen gestuwd, die het door het geheele lichaam heen voeren.

De opgenomen zuurstof wordt dan aan de bestanddeelen der weefsels afgegeven, en het daardoor donker geworden bloed keert door de aderen naar het hart terug om zich in de longen op nieuw van zuurstof te voorzien. Slagaderlijk bloed, dat naar de weefsels stroomt, is dus helder rood; aderlijk bloed, dat uit de weefsels terugkeert en daarin zijn zuurstof heeft afgegeven, is donker rood.

Het bloed is dus het vervoermiddel voor de zuurstof van de longen naar de weefsels, maar het is dat alleen door zijn gehalte aan haemoglobine. En daar nu alleen de roode bloedcellen die kleurstof bevatten, kan men zeggen, dat die cellen de eigenlijke werktuigen zijn, die met het zuurstofvervoer belast zijn. Hunne beteekenis voor het levend lichaam is dus een hoogst belangrijke. Hoogst merkwaardig is het, dat in de beide groote rijken der natuur ijzerhoudende kleurstoffen met zeer gewichtige verrichtingen op het gebied der stofwisseling zijn belast. In het gewervelde dier moet de ijzerhoudende roode haemoglobine de zuurstof aan het lichaam toevoeren, waardoor de oxydatie, het voorname kenmerk der dierlijke stofwisseling, wordt te weeg gebracht. In de groene planten moet het ijzerhoudende groene chlorophyl het koolzuur ontleden en zoodoende de voornaamste werkzaamheid verrichten bij de reductie en synthese die de plantaardige stofwisseling kenmerkt. Dat de eene rood en de andere groen is, en rood en groen tot kleurgebieden behooren die aan elkander complementair zijn, is zeker niet toevallig, maar toch voorloopig nog volstrekt onverklaarbaar.

Onder de vele problemen der biologische chemie mag ook een juist inzicht gerekend worden in de beteekenis en de werkzaamheid

dier hoogst samengestelde atoom-groepen, die we bloedkleurstof en bladkleurstof noemen.

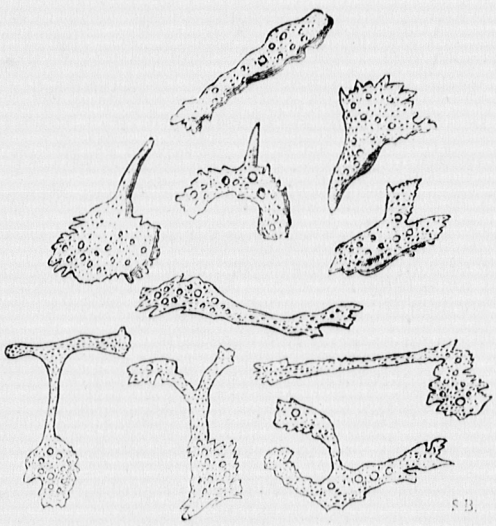
De roode bloedcellen zijn niet de eenige die wij in het bloed vinden, ofschoon men bij een oppervlakkigen blik door het mikroskoop allicht geneigd zou zijn in het onderzochte bloeddrupje geen andere aan te nemen; zoozeer vormen ze de overwegende meerderheid. Doch bij nauwkeurig toezien blijkt het alras, dat er in het gezichtsveld van het mikroskoop nog andere vormen voorkomen (Zie fig. 1. c.). Het zijn bleeke, ongekleurde, fijnkorrellige cellen, die niet, zooals de roode, schijfvormig zijn, maar zich als onregelmatig gevormde klompjes voordoen. Zij vallen niet zoo licht in het oog, eensdeels door dat zij de kleurstof missen, anderdeels doordat zij zooveel minder talrijk zijn, want op omstreeks 400 roode vindt men slechts een enkele witte bloedcel.

In tegenstelling met de roode bezitten de witte bloedcellen echter eene andere eigenschap, die hen evenzeer in hooge mate onze belangstelling waardig maakt. De roode bloedcellen namelijk kunnen wij, als zij voor schadelijke invloeden beschut zijn, onbeperkt langen tijd waarnemen, zonder een spoor van vormverandering er aan op te merken; het zijn en blijven schijfjes. Maar in zulk een bloeddrupje dat voor afkoeling en verdroging beschut is, en dat du zooveel mogelijk gehouden wordt in de omstandigheden waarin het in het levend lichaam verkeert, zien we aan de witte bloedcellen een vreemd verschijnsel. Een verschijnsel zoo vreemd, dat ik me zeer wel kan voorstellen, dat iemand die het voor het eerst ziet en het recht bedenkt, een lichte huivering door de leden vaart.

Stel u voor een drupje van uw eigen bloed, dat gij, behoorlijk verdund en op de daarvoor geschikte toestellen onder het mikroskoop waarneemt, zoodat het de temperatuur van 37°, die het in uw lichaam had, blijft behouden en tevens voor verdroging beschut is. Gij ziet het gezichtsveld wemelen van roode cellen, en daartusschen hier en daar een enkele witte. Sommige witten zijn nagenoeg ronde korrelige bolletjes, gij ziet er niets bijzonders aan. Maar een enkele van de bleekste is wat onregelmatig van vorm. Houd die nu eens gedurende eenige minuten goed in het oog, en het zal u niet moeie-

lijk vallen waar te nemen, dat gij hier met een levend zich bewegend wezen te doen hebt. Het bleeke geleiklompje verlengt zich naar

Fig. 3.



Contractiliteit der witte bloedcellen. De verschillende vormen door een en dezelfde witte bloedcel achtereenvolgens aangenomen. Vergrooting 750 maal.

den eenen kant, krijgt als het ware een staart, die staart groeit uit en wordt langer, en wordt daarna langzamerhand weer ingetrokken, terwijl zich aan het andere einde een uitsteeksel vormt, dat ook op zijn beurt weer wordt ingetrokken. Zoo gaat dat wonderbaar uitsteken en intrekken langzaam maar onophoudelijk voort, geen tien seconden achtereen blijft de vorm volkomen dezelfde, en onwillekeurig vergelijkt ge die bewegelijke bloedcel bij een kruipend dier.

Doch het leven dier merkwaardige wezentjes is teer. Een weinig water bij het bloed gevoegd, al is het ook van het zuiverste gedestilleerde water, of een weinig water er aan onttrokken door verdamping is voldoende om de witte bloedcel bewegingloos te maken, te dooden. Sterker nog werken andere stoffen; het minste spoor van een of ander zuur, zoo weinig zelfs dat de fijnste tong niet in staat is den smaak er van te proeven, doodt eveneens binnen weinige oogenblikken de witte bloedcel.

"Dooden? — levende wezens? — Dragen we dan in ons eigen bloed levende dieren met ons om, en krioelt het dan ook in het bloed van den gezondsten mensch van die mikroskopische kruipende geleimonstertjes?"

Die laatste vleiende benaming nu daargelaten, moet ik op die vragen in zekeren zin bevestigend antwoorden. Werkelijk zijn onze bloedcellen levende wezens, ofschoon we ze daarom nog niet op ééne lijn behoeven te stellen met ingewandswormen.

Levend noemen wij zulke voorwerpen, waaraan wij levensverschijnselen kunnen waarnemen. De voornaamste levensverschijnselen zijn stofomzetting, beweging en voortplanting. Wij kunnen ze aan elk dier of plant in meerdere of mindere mate waarnemen. Maar evenzeer kunnen wij ze waarnemen aan de cellen waaruit het dierlijk of plantaardig lichaam bestaat. Een electrische batterij levert electriciteit, omdat elk van de galvanische elementen waaruit zij bestaat electriciteit levert. Zoo is het ook tot op zekere hoogte met het levend lichaam; het bestaat uit levende eenheden, uit cellen, en de verschijnselen, die het vertoont, zijn slechts de som der verschijnselen die al zijne bestanddeelen vertoonen. Een spier trekt zich samen omdat zij bestaat uit samentrekbare spiervezels; een klier bereidt de een of andere stof omdat zij een aggregaat is van cellen die elk voor zich die stof bereiden.

Wij zijn nu langzamerhand gewoon geworden, het voor de oppervlakkige beschouwing meest in het oog vallende levensverschijnsel, n. l. de beweging, als het voornaamste levenskenmerk te beschouwen. Wanneer wij zeggen van iets dat het leeft, dan beteekent dat in de groote meerderheid der gevallen, dat het zich beweegt. Van daar dat het op ons geen bijzonderen indruk maakt, wanneer we hooren dat er in ons bloed cellen aanwezig zijn, die het levensverschijnsel van stofwisseling in hooge mate vertoonen; die mededeeling laat ons betrekkelijk koud. Maar zoodra wij hooren, dat er in ons bloed cellen zijn, die een ander levensverschijnsel, dat van beweging, in sterke mate vertoonen, dan griezelt het ons, en wij denken met huivering aan ingewandswormen en dergelijke dieren. Toch is de eene soort van cellen even goed levend als de andere, en beide hebben hetzelfde recht op den naam levende wezens, voor zooverre zij beiden zijn zelfstandig bestaande klompjes levende stof, of om voor "levende

stof" den gebruikelijken kunstterm te bezigen: zelfstandig bestaande klompjes protoplasma.

Voorloopig mogen deze uiteenzettingen hierover ter dezer plaatse voldoende zijn. Allicht kom ik later nog eens op de zaak terug, en verwijs voorloopig hen, die hierover iets uitvoerigers willen lezen, naar een opstel getiteld "Leven" in *de Gids* van Jan. 1873.

Om weer tot onze witte bloedcellen terug te keeren: wat doen ze? welke is hunne beteekenis in het bloed?

Voor een deel vormen de witte bloedcellen de reservetroepen, waaruit de roode, die in den strijd des levens te gronde gaan, voortdurend weer worden aangevuld. Is dat zoo, dan zou men verwachten in het bloed overgangsvormen tusschen beide aan te treffen. Zulke overgangsvormen van witte tot roode bloedcellen zijn echter in het gewone bloed niet te vinden. Niet omdat zij niet bestaan, maar omdat die overgang alleen plaats heeft in een bepaald gedeelte van de bloedbaan, in een byzonder orgaan, n.l. het roode beenmerg.

In alle pijpbeenderen is, zooals bekend is, een meer of minder groote holte aanwezig, de mergholte, die met een gele vetachtige stof, het gele beenmerg, is opgevuld. Door het doorzagen of openspliјten der beenderen kan die mergholte geopend en het merg er uit genomen worden. Die anatomische kennis heeft de mensch reeds duizenden van jaren lang bezeten; bekend is het immers, hoe onder de overblijfselen uit het leven der voorhistorische Europeesche wilden altijd een groot aantal in de lengte gespleten beenderen voorkomen, die men in verband brengt met de gewoonte dier wilden om zich op die wijze het merg tot voedsel te verschaffen. En niet onwaarschijnlijk zijn de sagen van helden, die in hun jeugd met beendermerg gevoed werden (Achilles b.v.), als een herinnering aan dat gebruik uit den voortijd te beschouwen. Dat gele beendermerg is het echter niet wat ik hier bedoel. Aan de uiteinden der lange beenderen, en over het algemeen daar waar het beenweefsel sponsachtig is, zijn de fijne holten er van met rood merg gevuld, een weeke bloedrijke stof. De grondstof van dat roode merg is een zeer fijn netwerk, waardoor een groot aantal bloedvaten loopen. In dat weefsel nu vindt men niet alleen een groote menigte witte bloedcellen, maar ook een tal van overgangsvormen tusschen witten en rooden; de witte cellen vormen roode kleurstof in zich, verliezen hunne korrels en worden

platte schijfjes. Het roode beenmerg dus is de plaats, waar de witte reservetroepen bij het actieve leger worden ingelijfd en de roode uniform aantrekken. Doch niet met alle witte bloedcellen gebeurt dat: een gedeelte er van (waarschijnlijk zelfs het grootste gedeelte) ontsnapt aan de inlijving, zij blijven voorloopig als witte cellen bestaan en volgen later een andere loopbaan dan hun rood geworden broederen.

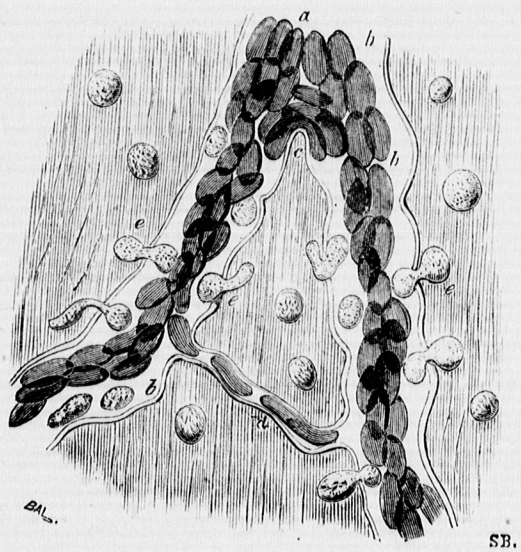
Welk is hun lot?

Om na te gaan wat er van die overige witte cellen wordt, moeten wij ze eerst eens beschouwen in hun handel en wandel als ze zijn op hun eigen gebied, in hun eigen huis, in de bloedvaten waar ze thuis zijn. Een huiselijk tafereeltje van het leven der bloedcellen is echter geen stilleven, verre van daar. Stellen we ons voor dat we een of ander doorschijnend vlies van een levenden kikker onder het mikroskoop brengen, natuurlijk wanneer het in samenhang blijft met het overige lichaam. Dan zien we een levendig schouwspel, wel geschikt den beschouwer voor langen tijd aan het mikroskoop te boeien. Alles is leven en beweging in de grovere en fijnere bloedvaten, die door het vlies heenloopen. Een dicht opeengepakte massa bloedcellen, zoo dicht dat ge haast zoudt meenen dat er geen vocht tusschen was, dringt zich door de kanalen heen, over en door elkaar rollend en schuivend en glijdend. Hier glipt een groepje een zijwegje in, en is in een ommezien uit het gezichtsveld verdwenen. Daar komen er anderen aanschieten uit een fijn vaatje en voegen zich bij het hoofdleger in het grootere vat. Daar weer is een oogenblik stilstand op een tweesprong, de aanrukkende massa's dringen zich op een, al meer en meer, wringend en wrijvend, totdat eindelijk de troep weer voortschiet, de eene dit, de andere dat kanaal insnellend.

En komen we in de kleinere vaten, dan kunnen we de afzonderlijke bloedcellen beter nagaan. We kunnen dan zien hoe rekbaar en elastisch de roode bloedcellen zijn, hoe zij zich door nauwe vaatjes door wringen, waarbij zij sterk in de lengte worden uitgerekt, om dan zoodra zij in ruimer omstandigheden zijn hun vorigen vorm weder te hernemen. Soms zien we een roode bloedcel die op een plaats waar een klein vaatje zich in tweeën splitst blijft hangen, een besluitelooze "Hercules am Scheidewege". Hij stuit op den hoek dien de beide bloedvaattakjes met elkaar maken. En dan is het merk-

waardig om te zien, hoe de beide helften van die cel door den bloedstroom aan weerskanten van den tweesprong worden uitgerekt;

Fig. 4.



Bloedstroom in een doorschijnend vlies (mesenterium) van den kikker.

a. Stroom van roode cellen in de as van 't vat. *b*. Randlaag, waarin alleen bloedvocht en witte cellen stroomen. *c*. Vertakking; een roode bloedcel rijdende en uitgerekt op een scherpen hoek. *d*. Roode bloedcellen door een nauw vaatje gaande en sterk uitgerekt. *e*. Uittredende witte bloedcellen.

de cel rijdt als het ware op dien hoek en krijgt het uiterlijk van een zak, die aan de beide uiteinden gevuld en in het midden leeg over den schouder gedragen wordt. Zoo kan het weeke geleiklompje vele sekonden lang op zulk een tweesprong blijven hangen, aan weerskanten sterk uitgerekt doch zonder te breken, totdat eindelijk de stroom naar een van beide richtingen de overhand krijgt en de bloedcel losschiet in een van de beide zijtakken, waarbij dan ook weer terstond de uitgerekte vorm in den gewonen overgaat. Dergelijke verregaande vormsveranderingen maken het zeer onwaarschijnlijk, dat wij in de bloedcellen te doen hebben met eigenlijke blaasjes voorzien met een omhullend vlies, en laten zich veel beter verklaren wanneer wij ze beschouwen als weeke elastische klompjes.

Maar waar zijn nu in de bloedvaten, waarin we het zoo even beschreven schouwspel waarnemen, onze witte bloedcellen? of verdwijnen ze

in het gewoel van de zoo veel talrijker rooden? Dat zou allicht het geval zijn als de witten zich niet heel voornaam op een afstand hielden. Wanneer we een van de grootere vaatjes nauwkeurig beschouwen, dan blijkt het dat de dicht opeengepakte stroom van roode bloedcellen niet het geheele vat opvult, maar dat er eene zekere ruimte overblijft tusschen de bloedcellen en den wand van het vat. Die ruimte is natuurlijk niet ledig, maar bevat kleurloos bloedvocht. Stel u voor een met water gevulden koker, waardoor een school visschen zwemt, die dicht opeengepakt blijven rondom de as van den koker en niet langs den wand zwemmen.

Dat randgedeelte nu van het vat, dat door de roode bloedcellen niet wordt betreden, is het voor de witte cellen gereserveerd terrein. Zie — zij willen niet meedoen met het snel voortschietende roode gepeupel, maar kruipen traag voort langs den wand van het vat. Van tijd tot tijd wordt er wel eens een door den stroom meegesleurd, maar niet voor lang.

Die scheiding tusschen witte en roode bloedcellen, waarvan hier sprake is, verdwijnt echter in de allerkleinste vaatjes, in de eigenlijke haarvaten. Die zijn te nauw, dan dat er zulke gereserveerde trottoirs voor de witte cellen zouden kunnen overschieten; pêle-mêle dringt alles, wit en rood, zich daar door heen.

Dat stroomen van de witte bloedcellen langs den wand der kleinere vaten, is voor hunne lotgevallen niet zonder belang. Zooals wij straks zagen bezitten de witte cellen de merkwaardige eigenschap van *contractiliteit*, zij kunnen zelfstandige bewegingen volbrengen en daardoor zich verplaatsen. De wand der kleine bloedvaten is dun en teer. Ligt er nu een witte cel tegen dien wand, dan zendt ze al spoedig een uitsteeksel in den wand op en boort er zich zoo in. Langzamerhand kan ze zoodoende door den wand heenkruipen (Zie fig. 4. e). Meen echter niet, dat het waarnemen daarvan zoo gemakkelijk is als het waarnemen van den bloedstroom zelf; dat doorkruipen gaat zeer langzaam, zoodat er dikwijls uren lang voor noodig zijn om een uit het bloed wegsluipende cel op heeter daad te betrappen.

Zijn er nu openingen in den vaatwand aanwezig, waardoor de witte cellen heenkruipen? Ware dat het geval, waren het vooraf-bestaande openingen, dan zou het moeielijk te verklaren zijn, waarom ook niet de roode bloedcellen en het vocht door die openingen heen-

drongen. Doch ook zonder dat we dergelijke openingen in den wand der vaten aannemen, kunnen wij ons van het uittreden der witte cellen bevredigend rekenschap geven, als we ons den wand der vaten maar niet te vast en te stevig voorstellen. Onze fijnere bloedvaten zijn in den levenden toestand geen vaste vliezige buizen, maar hebben een veel weekeren wand, dan men oppervlakkig geneigd is zich voor te stellen. Als ge mij een eenigszins huisbakken, om niet te zeggen triviale, vergelijking vergunt, zou ik die fijnere bloedvaten ditmaal het liefst willen vergelijken bij mikroskopisch kleine buisjes, waarvan de wand bestaat uit een verbazend dun laagje *blanc mangé*. Stel u voor, dat door dien wand van *blanc mangé* een wormpje heen kruipt op dezelfde wijze als de witte bloedcellen dat doen. Dan behoeft er ook geen vooraf bestaande opening aanwezig te zijn, en evenmin is er een opening na het doorkruipen van den worm. De weeke massa wordt weggedrongen door het voortkruipende dier en sluit zich weer als het gepasseerd is. Zoo ongeveer moeten wij ons het uittreden der witte cellen uit het bloed denken.

Zulk een afgedwaalde witte cel kan natuurlijk geen roode meer worden; die promotie heeft zij zich afgesneden door uit het bloed weg te kruipen. Doch daarom kan er van zulk een verdoolde nog wel iets terechtkomen; ze is nog niet geheel voor de cellenmaatschappij verloren. Wat er echter in ieder byzonder geval van wordt, is moeielijk te zeggen, daar het onmogelijk is een afzonderlijke cel gedurende een langen tijd onder het mikroskoop in het oog te houden. Doch altijd schijnen zich die uitgetreden bloedcellen wonderwel in de nieuwe omstandigheden die zij buiten het bloed vinden te schikken; ze kunnen daarbij allerlei veranderingen ondergaan en tot allerlei vormen van cellen worden. De witte bloedcellen zijn dus de jonge cellen, de *spes patriae*, waaruit nog van alles groeien kan.

En juist omdat er uit die witte bloedcellen van alles groeien kan, spelen ze een gewichtige rol in het lichaam. Het zijn onze geneesmeesters; de genezing van wonden en de vorming van nieuwe weefsels daarbij is grootendeels hun werk. Bij elke beleediging of beschadiging van een weefsel ontstaat er een toestand dien wij ontsteking noemen; daarbij verlaten de witte bloedcellen in talloos aantal het bloed, en dikwijls is hunne menigte zoo groot, dat ze voor het bloote oog zichtbaar worden als een meer of minder dunne brij,

de zoogenaamde etter. Een gedeelte er van strekt dan om het geleden verlies aan substantie in de wonde weer aan te vullen, en de ontstane gaping in huid of spieren weer te doen dichtgroeien. Er kunnen echter ook omstandigheden zijn, waarbij dat uittreden van witte cellen niet leidt tot genezing van wonden, en in zulke gevallen kan zulk een ontsteking wel degelijk schadelijk voor het lichaam werken.

Kunnen we dus, zooals straks gebleken is, de roode bloedcellen a d e m h a l i n g s c e l l e n noemen, evenzeer verdienen de witte bloedcellen den titel van r e g e n e r a t i e c e l l e n.[1] De cellen waaruit de ontwikkelde weefsels bestaan, zijn als het ware cellen op leeftijd, bedaagde, deftige individuen, die de verrichtingen die van hen geeischt worden behoorlijk vervullen, maar die te veel van hun plasticiteit, hun buigzaamheid verloren hebben, om zich gemakkelijk in nieuwe omstandigheden te schikken en in zulke gevallen iets nieuws te produceeren. Het gaat in de cellen-maatschappij als in de menschen-maatschappij; individuen, die jaren lang een zekere betrekking tot aller tevredenheid vervullen, roesten dikwijls vast op hun plaats en worden ongeschikt om in geval van nood tot vernieuwing, tot reorganisatie mede te werken. Toch komen zulke gevallen voor; beide, cellen- en menschen-maatschappij, kunnen gewond worden. Dan spelen de witte bloedcellen hun rol. Het zijn jonge spring-in-'t velden; zij zijn nog niet verstijfd in de vaste vormen van den sleur, zooals hunne celcollega's, die reeds een vaste betrekking als bindweefselcel of epitheel-cel of iets anders bekleeden. Maar zij veranderen elk oogenblik van vorm. Zij blijven niet op hun plaats en storen zich niet aan de hun voorgeschreven baan. Door eigen kracht zwerven ze door de weefsels, en vinden ze ergens iets dat vernieuwing noodig heeft, dan vestigen ze zich daar voor goed en doen het werk wat daar vereischt wordt. Reorganisatie, levering van nieuwe weefsels, is dan hun werk.

Doch het geldt van cellen zoo goed als van menschen, hoe meer plastisch een zekere natuur is, hoe minder nog gedresseerd op vaste levensvormen, des te gemakkelijker kan de werkzaamheid van zulk een natuur een verkeerde richting inslaan en tot verderf leiden. Onder hen die in dagen van maatschappelijke beroering de platgetreden

[1] Vgl. o. a. Rollett, Untersuch. a. d. physiol. Instit. in Graz. II. 132. Ziegler. Cen 1874. No 51.

banen verlaten, om zich te wagen op de barricaden die op de wondvlakten der maatschappij zijn opgeworpen, schuilen er hervormers en vernieuwers en geneesmeesters, maar ook petroleurs en bandieten. Zoo ook, waar er stoornis is in het lichaam, kan de werkzaamheid der uitgetreden witte cellen leiden tot genezing en vernieuwing, maar ook kan ze de richting inslaan die leidt tot ontbinding der cellenmaatschappij, tot den dood van het lichaam.

Tot nog toe hebben wij ons alleen bezig gehouden met de cellen die in het bloed voorkomen, maar daarmede is nog op verre na niet de geheele rol van het bloed besproken. De cellen vormen slechts ongeveer een derde van het gewicht van het bloed, het overige twee derde is vloeistof, bloedplasma zooals het heet. Wat voor een vloeistof is dat plasma?

Om dat te bestudeeren zouden wij ons een hoeveelheid van dat vocht moeten verschaffen, maar dat gaat niet zoo heel gemakkelijk.

Wanneer we een vloeistof hebben, waarin niet-vloeibare deeltjes aanwezig zijn, en we willen de vloeistof van die deeltjes zuiveren, dan ligt het het naast voor de hand haar te filtreeren. Laat zich nu een materiaal vinden dat geschikt is om bloed te filtreeren? Ons gewone filtreermiddel, het filtreerpapier der laboratoriën, laat ons hier in den steek, want het bloed dat daarop gegoten wordt loopt er even rood door, de bloedcellen gaan even goed als de vloeistof door de poriën van het papier heen. Nu zou het wel mogelijk zijn, door vermeerdering van het aantal lagen papier of door het kiezen van een fijner materiaal de bloedcellen terug te houden, maar dan zou het filtreeren des te langzamer gaan, en dan zouden we al spoedig een verschijnsel zien optreden, dat ons de geheele filtratie onmogelijk maakte; het bloed zou na korten tijd vast worden en stollen.

Dat is een geheimzinnig verschijnsel. In het levend lichaam is het bloed volkomen vloeibaar en stroomt zonder stoornis door de fijnste kanalen. En nauwlijks heeft het het lichaam verlaten, slechts eenige minuten behoeft het glas met opgevangen bloed gestaan te hebben, of de vloeistof is geronnen tot een vasten geleiachtigen koek. 't Is alsof de levensgeesten die in het bloed huizen de schendige hand willen teleurstellen, die het bloed uit zijn natuurlijke verblijfplaat

durfde halen, evenals in de tooversprookjes der middeleeuwen het goud uit de onderaardsche schatkameren, door onbevoegde hand aangeraakt, plotseling in oud ijzer veranderde.

De onderzoekingen der laatste jaren hebben ons een goede schrede verder gebracht op den weg tot verklaring van dit merkwaardig verschijnsel. Een uiteenzetting echter van de daarop betrekking hebbende feiten zou ons hier te ver voeren. Alleen het volgende moge volstaan.

Schijnbaar wordt bij de stolling het bloed in zijn geheel vast, evenals een lijmoplossing bij de afkoeling tot een enkelen vasten klomp stolt. Doch in werkelijkheid is het slechts een klein gedeelte van het bloed, dat uit den vloeibaren in den vasten toestand overgaat. We kunnen dat gemakkelijk aantoonen door het bloed dat we uit het levend lichaam opvangen niet stil te laten staan, maar onmiddellijk met een stokje te roeren en te kloppen. Dan ontstaat er geen koek, maar na verloop van eenigen tijd vinden we aan het stokje vezelige vlokken vastgehecht, die, door water van de aanhangende roode kleurstof bevrijd, zich kleurloos voordoen en onder den naam van vezelstof of fibrine bekend zijn. Zulk geklopt bloed blijft dan verder onbepaald langen tijd vloeibaar, het stolt niet meer, eenvoudig daarom, omdat de stolbare vezelstof er uit verwijderd is. Dezelfde stof, die zich bij rustig staan afscheidt in den vorm van een volumineuse gelei, die het gansche overige bloed insluit, heeft zich onder den invloed van het kloppen in vast opeengepakte veel minder ruimte innemende vlokjes afgescheiden.

Terwijl dus de stolling van het bloed het in de meeste gevallen onmogelijk maakt om het bloed-plasma in de bloedcellen behoorlijk van elkaar te scheiden, geeft ons die stolling zelf een middel aan de hand, om de overblijvende bestanddeelen van het bloed vrij nauwkeurig te isoleeren. Wanneer men n. l. een koek gestold bloed laat staan, dan trekt zich die koek langzamerhand samen en perst een geelachtige nagenoeg heldere vloeistof uit, zoodat na verloop van eenige uren de samengetrokken koek in een vrij groote hoeveelheid van dat vocht drijft. Die vloeistof nu is het bloedwater of serum. Het is het bloedplasma, waaruit zich door stolling de vezelstof heeft afgescheiden. Die vezelstof en de cellen blijven in den koek terug.

Onderzoeken we nu de samenstelling van het serum, dan blijkt

dat een waterige vloeistof te zijn, die zeer rijk is aan eiwit, zoo zelfs, dat ze bij het koken tot een vaste massa wordt, even als het hoendereiwit. Verder bevat het altijd nog vet en suiker (druivensuiker), ofschoon in veel mindere hoeveelheid dan eiwit. Nog andere bestanddeelen van het serum, die ook nimmer ontbreken, zijn verschillende omzettingsproducten, stoffen zooals ureum, cholesterine, enz., die door de stofwisseling in de weefsels ontstaan zijn. Eindelijk bevat nog het serum altijd een zekere hoeveelheid minerale stoffen, keukenzout, kalkzouten enz.

Het bloedserum is dus een vrij samengestelde vloeistof. En de reden van die samengesteldheid laat zich licht begrijpen.

Stofverbruik gaat onafscheidelijk met het leven gepaard; konden we in één oogenblik het stofverbruik in het levend lichaam doen ophouden, dan zouden we daarmee het leven zelf doen ophouden. En wat van het geheele lichaam geldt, geldt evenzeer van de cellen en weefsels waaruit het ter laatster instantie bestaat. Een levende werkzame cel moet voortdurend in scheikundige omzetting zijn. Daardoor dus zou hare samenstelling voortdurend veranderen, wanneer niet onophoudelijk nieuwe stoffen werden toegevoerd en de omzettingsproducten weer afgevoerd. Stellen wij ons b. v. een cel voor, bestaande uit een aantal stoffen, waaronder eiwit een voorname plaats beslaat. In die cel nu hebben scheikundige omzettingen, gisting, oxydatie enz., plaats. De bestanddeelen der cel, het eiwit, het vet en de andere stoffen, worden daarbij verbruikt, en omgezet tot eenvoudiger verbindingen, ureum, koolzuur enz. Na een zekeren tijd zal dus, verondersteld dat er geen toevoer of afvoer van stof bestaat, de cel armer aan eiwit en rijker aan ureum geworden zijn. Zij zal dus in samenstelling gewijzigd zijn, niet meer hare normale verhouding van bestanddeelen bezitten, en dus, daar de verrichting aan de normale samenstelling ten nauwste verbonden is, niet meer normaal werken Maar wanneer nu, naarmate het eiwit en de overige cel-bestanddeelen verbruikt worden, weer nieuwe stoffen worden toegevoerd, terwijl evenzeer het ureum en de overige omzettingsprodukten naarmate zij ontstaan worden afgevoerd, dan laat het zich begrijpen, dat de samenstelling der cel dezelfde kan blijven in weerwil van de daarin plaats hebbende scheikundige werking.

Wat nu van de cellen geldt, geldt evenzeer van de weefsels die

door samenvoeging van cellen, en van de organen die door samenwerking der weefsels ontstaan. Ook daarbij zal ondanks alle scheikundige omzetting de samenstelling dezelfde blijven, wanneer slechts toevoer en afvoer met elkaar in evenwicht zijn.

In het lichaam echter zijn een aantal weefsels aanwezig die onderling door den aard der samenstellende cellen van elkaar verschillen. Het spierweefsel, het hoofdbestanddeel onzer spieren, bestaat uit innig aaneenhangende samentrekbare spiercellen; het zenuwweefsel van hersenen en ruggemerg bestaat grootendeels uit onderling verbondene zenuwcellen; het klierweefsel uit kliercellen; het bindweefsel, zooals het in pezen, banden en vliezen voorkomt, uit bindweefselcellen enz.. Al die verschillende soorten van cellen hebben een verschillende samenstelling en diensvolgens ook verschillende verrichtingen. De scheikundige omzettingen dus in spierweefsel, zenuwweefsel enz., verschillen onderling en leveren niet noodzakelijk dezelfde produkten.

Wanneer we dit alles bedenken, wordt het ons duidelijk, waarom het bloed zulk een groot aantal bestanddeelen moet bevatten, want het moet aan alle organen de stoffen die zij noodig hebben toevoeren en de produkten der omzetting uit de organen weer afvoeren. Maar wanneer nu het bloed voortdurend aan al de organen voedsel toevoert en de produkten der stofwisseling daaruit weer opneemt, dan zal het binnen korten tijd armer worden aan voedingsmateriaal en al te rijk aan omzettingsprodukten. Daardoor zal de samenstelling van het bloed zelf moeten veranderen en het zal zijne verrichtingen niet meer normaal kunnen vervullen. Dit gevaar wordt echter voorkomen, doordat het bloed in de gelegenheid gesteld wordt om nieuwe voedingsstoffen uit het spijskanaal op te nemen, en voortdurend de omzettingsprodukten, ureum, koolzuur enz., door de longen, de nieren en de huid uit het lichaam kan verwijderen.

De zeer samengestelde en belangrijke rol, die het bloed in het lichaam speelt, met betrekking tot het vervoer van stof, komt dus neer op het volgende:

1°. Alle weefsels hebben tot hunne verrichting zuurstof noodig. Door de ademhaling wordt de zuurstof in de longen gevoerd. En in de longen stroomt het bloed, neemt daar de zuurstof op en vervoert die naar de weefsels tot in de verste deelen des lichaams.

2°. De stoffen waaruit de weefsels bestaan worden voortdurend verbruikt (grootendeels door verbinding met de door het bloed toegevoerde zuurstof) en moeten weer worden aangevuld. Daartoe neemt het lichaam voedsel van buiten op in het spijskanaal. Maar daardoor komen de voedingsstoffen nog niet ter plaatse waar zij behooren en dienst doen moeten. Gelijk het bloed de zuurstof komt halen uit de longen, zoo komt het het voedsel halen uit het spijskanaal en vervoert die stoffen naar alle weefsels des lichaams.

3°. Door scheikundige werkingen ontstaan in alle weefsels omzettingsprodukten, die, wanneer zij niet schadelijk zullen gaan werken, verwijderd moeten worden. Ophooping van die produkten bewerkt stoornis in de normale verrichtingen. Ook voor die verwijdering zorgt het bloed; het neemt die stoffen op en vervoert ze naar de verschillende uitscheidingsorganen, waar zij het lichaam verlaten.

Doch overal in het lichaam is het bloed bevat in gesloten buizen, die niet met de buitenwereld in gemeenschap staan. In de bloedvaten der longen zijn geen openingen, waardoor de zuurstof uit de lucht in het bloed kan overtreden. Evenmin bezitten de bloedvaten in den wand van het spijskanaal openingen tot opneming der voedingsstoffen. Evenmin zijn in de bloedvaten der uitscheidingsorganen openingen aanwezig tot verwijdering der omzettingsprodukten. En evenzoo zijn in alle organen de bloedvaten volkomen gesloten buizen. Daarom kan echter het in- en uittreden van stoffen zeer wel plaats hebben. De wanden der fijnste bloedvaten n.l. zijn zeer dunne vliezen met vocht doortrokken, en door zulke vliezen kunnen zeer gemakkelijk, zooals de proef leert, opgeloste stoffen passeeren. Wanneer men in een zakje van het bekende perkamentpapier of in een dierlijke blaas een oplossing van suiker of zout doet, en dan het zakje in water hangt, dan is na verloop van eenigen tijd duidelijk door scheikundige herkenningsmiddelen of den smaak de aanwezigheid van suiker of zout in het water buiten het zakje te ontdekken. Een met vocht doortrokken en aan weerszijden door vocht bespoeld vlies biedt geen hinderpaal voor den doorgang van opgeloste stoffen. En zoo heeft ook in het bloed het in- en uittreden van stoffen niet anders plaats dan door den gesloten wand der fijnste bloedvaten.

Ten slotte, voor dat we van het bloed afstappen, nog een enkele opmerking van vergelijkend physiologischen aard, die ons de beteekenis van dat vocht nog duidelijker zal doen uitkomen. De aanwezigheid van bloed in een levend dier veronderstelt, dat dat dier reeds een zekeren rang bekleedt in de reeks der organismen. De allereenvoudigste dieren hebben nog geen bloed noodig; hun lichaam is nog zoo klein en zoo weinig samengesteld, dat al de deelen daarvan in hunne behoefte aan zuurstof, aan voedsel, aan verwijdering der omzettingsprodukten, zelf kunnen voorzien. Het zuurstofhoudende water waarin het dier leeft, komt onmiddellijk met alle deelen van het lichaam in aanraking, en zoo worden ook de voedingstoffen door het geheele eenvoudige lichaam zoo verspreid, dat zij direct komen ter plaatse waar zij behooren, en ook de omzettingsprodukten kunnen door de lichaamsbestanddeelen onmiddellijk aan de buitenwereld worden afgeleverd. Doch zoodra het dierlijk lichaam meer samengesteld wordt, dan zijn alle deelen niet meer onder even gunstige omstandigheden ten opzichte van het opnemen en afgeven van stoffen. De buitenste lagen van het lichaam zullen, voor zoover zij niet door harde bekleedselen bedekt zijn, het voordeeligst gelegen zijn om zuurstof uit de omgeving op te nemen, en die deelen, die het naast rondom het spijskanaal gelegen zijn, kunnen het gemakkelijkst de voedingstoffen opnemen. Maar wat daartusschen ligt, wat noch met de buitenwereld, noch met het spijskanaal in nauwe aanraking is, is ten opzichte van zuurstof en voedsel in minder gunstige omstandigheden. Zoodra nu dat gedeelte van het lichaam wat in die minder gunstige omstandigheden verkeert, eenigszins belangrijk wordt, ontstaan er byzondere inrichtingen om òf de zuurstof, òf het voedsel tot in de meest verwijderde gedeelten van het lichaam te brengen. Er ontstaan fijn vertakte kanalen, die, van de lichaamsoppervlakte uitgaande, het luchthoudende water of de lucht direct tot in het binnenste van het lichaam vervoeren, zooals het watervaatstelsel der stekelhuidigen en het tracheënstelsel der insekten. Of er ontstaan kanalen, die, van het spijskanaal uitgaande, zich door het geheele lichaam vertakken, zooals bij medusen en andere dieren het geval is. In al die gevallen wordt de lucht zelf, of het water zelf, of de spijsbrij zelf *als zoodanig* door het lichaam gevoerd. Natuurlijk is dan voor elke verrichting, vervoer van zuurstof en ver-

voer van voedsel, een afzonderlijk stelsel van kanalen noodig. Bij hoogere ontwikkeling nu, bestaat er slechts één stelsel van kanalen, dat die verschillende verrichtingen volvoert n.l. het bloedvaatstelsel. Maar dat kan alleen dan geschieden, wanneer het niet meer het luchthoudend water of het spijsvocht zelf is wat in die kanalen stroomt, maar wanneer in die kanalen een vloeistof aanwezig is, die eensdeels de zuurstof uit de lucht of het water, anderdeels de voedingstoffen uit het spijskanaal kan opnemen en door het lichaam vervoeren. Zoodra er zulk een kanaalstelsel met zulk een vloeistof aanwezig is, mag men van bloed spreken, om het even of die vloeistof al of niet rood gekleurd is. Want de zuurstofopneming behoeft niet noodzakelijk bij alle dieren juist door roode bloedkleurstof te geschieden. De benaming "bloedelooze dierkens", die onze oude dierkundigen aan de lagere dieren gaven, komt dus voor velen daarvan volkomen tot haar recht, daar een groot aantal der ongewervelde dieren bloed, in de eigenlijk physiologische beteekenis van het woord, niet bezitten.

Daar het bloed al de boven omschreven gewichtige verrichtingen in het lichaam heeft te vervullen, laat het zich begrijpen dat de aanwezigheid van een voldoende hoeveelheid bloed voor het leven volstrekt noodzakelijk is. Reeds een eenigszins aanmerkelijke vermindering van de gewone hoeveelheid bewerkt verregaande stoornissen. Een sterk bloedverlies is voldoende om een lichaam op den oever des doods te brengen, ofschoon zelfs bij het volledig doodbloeden op verre na niet de geheele hoeveelheid bloed wegvloeit, maar een aanzienlijk gedeelte in het lichaam terugblijft.

Gelijk het leven van een samengesteld levend lichaam de som is van het leven der afzonderlijke organen waaruit het bestaat, zoo treedt ook de dood door bloedverlies op, doordat de afzonderlijke organen tengevolge daarvan hunne verrichtingen niet meer kunnen vervullen. Vandaar dat wij de verschijnselen, die bij bloedverlies of bij het doodbloeden gezamenlijk optreden, ook afzonderlijk kunnen te voorschijn roepen door te werken op de organen waarvan zij uitgaan. Zoo b. v. wordt iemand door sterk bloedverlies bewusteloos; zijne hersenen ontvangen niet meer genoeg bloed om het levensverschijnsel, dat wij bewustheid noemen, te kunnen voortbrengen. Maar

evenzeer ontstaat er bewusteloosheid, wanneer er bloedarmoede der hersenen ontstaat, ook zonder dat juist het bloed uit het lichaam behoeft weg te vloeien, b. v. door belemmering van den bloedstroom in de slagaderen die naar de hersenen leiden. Krampen kunnen ook dikwijls bij het doodbloeden optreden. En evenzoo kan men dezelfde krampen doen ontstaan door allerlei invloeden die bloedarmoede der hersenen bewerken. Groote krachteloosheid en spierverzwakking is een bij bloedverlies standvastig verschijnsel. Doch evenzoo wordt een dergelijke verzwakking voor elke afzonderlijke spier bewerkt door den bloedtoevoer van die spier af te sluiten. In beide gevallen heeft hetzelfde verschijnsel plaats; het spierweefsel kan door den gebrekkigen bloedtoevoer niet meer zijn normale verrichtingen vervullen; in het eene geval heeft dat plaats over het geheele lichaam, omdat door het bloedverlies het geheele lichaam aan bloedarmoede lijdt; in het andere geval is die bloedarmoede tot een enkele spier of spiergroep beperkt.

Dergelijke voorbeelden zouden zich nog meer laten bijbrengen tot toelichting van de stelling, dat een dier door bloedverlies sterft omdat zijn afzonderlijke organen allen bloed noodig hebben, dat dus het levende dier niet anders is dan het innig samenhangend aggregaat van een aantal levende organen.

HET HART.

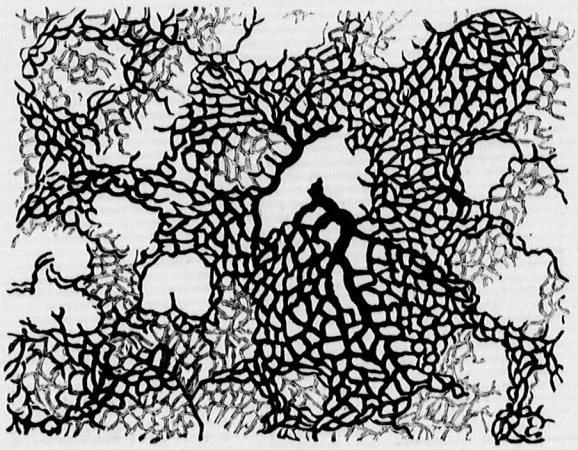
Overal in het lichaam is bloed aanwezig. Zoo dicht is het net van bloedvaten, dat zich door de weefsels verspreidt, dat ook het kleinste wondje, zelfs een speldeprik in de huid een bloeddruppel doet te voorschijn komen. Wanneer de mazen van het vaatnet in de huid eenigszins grootere afmetingen hadden, dan zou er licht kans zijn, dat men met een speldeprik juist stak in een ruimte tusschen de bloedvaten, en zou er geen bloed te voorschijn komen. Doch dat is niet het geval; altijd zal men ook met het fijnste naaldeprikje een of meer vaatjes kwetsen en een kleine bloeding doen ontstaan.

En dat dit wel het geval moet zijn, laat zich begrijpen als we ons een kleine ondiepe wonde voorstellen, zoals wij die wel honderdmaal door snijden of scheuren in de huid hebben gehad.

Het wondje is zoo onbeduidend, dat het niet eens tot eigenlijke bloeding komt; het is slechts een kleine ontvelling, zooals wij het noemen. De opperhuid is op die plaats afgescheurd, zoodat de daaronder liggende lederhuid voor den dag komt. De bodem van het wondje nu schijnt rood door. Dat roode is niet het vleesch, want het verschijnt even goed op plaatsen, waar geen spieren onder de huid liggen, zooals b. v. op de vingerknokkels. Die roode vochtige oppervlakte van een ontvelde wonde is niet anders dan de bloedrijke lederhuid met hare ontelbare fijne bloedvaatjes, zoo klein en zoo dicht opeen gepakt, dat zij zich voor het bloote oog als eene gelijkmatige vlakte voordoen.

Eerst het mikroskoop doet ons dat vaatnet kennen als uit afzonderlijke kanaaltjes bestaande. Hiernevens zijn er een paar afgebeeld,

Fig. 5.

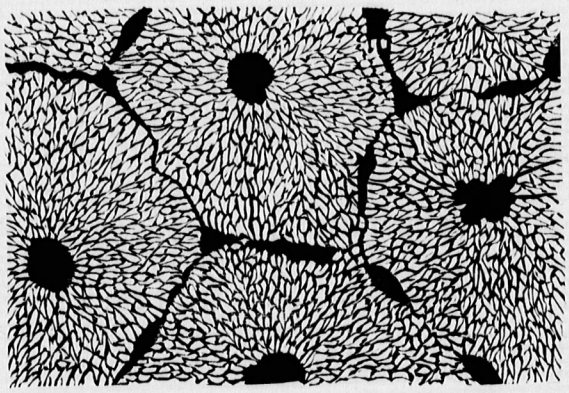


Vaatnet van de long (mensch). De vaatjes liggen niet allen in hetzelfde niveau, vandaar dat zij niet allen even scherp uitkomen.

geteekend bij een vergrooting van ongeveer honderd maal.

Om deze vaatnetjes tot hare werkelijke grootte te reduceeren, moe-

Fig. 6.



Vaatnet van de lever (mensch).

ten we de hier gegevene afmetingen honderdmaal kleiner nemen. De teekening, die daardoor zou ontstaan, zou onmogelijk voor het bloote

oog als die van een netwerk te herkennen zijn, maar niet anders dan een gelijkmatig donker plekje schijnen.

Die fijne vertakking van het bloedvatennet in de weefsels is van het hoogste belang. Want hoe fijner het netwerk is, des te enger zijn de mazen, des te kleiner dus in dit geval de tusschenruimten, waarin de weefselbestanddeelen liggen. Hoe kleiner nu die ruimten zijn, des te meer bloed zal met het weefsel in aanraking komen. Het gaat er meê als met een dor veld, dat water noodig heeft. Leidt men nu het water in een enkele sloot rondom dat veld, dan zullen de vlak aan de sloot gelegene gedeelten behoorlijk bevochtigd kunnen worden, maar de verder afgelegene veel minder. Wanneer daarentegen de sloot, in plaats van rondom het veld, in talrijke kleine vertakkingen naar alle richtingen door het veld heenstroomt, dan zal de bodem veel meer van het water kunnen profiteeren.

Daarmede is het dan ook in overeenstemming, dat de fijnste en dichtste bloedvaatnetten juist voorkomen in de organen, waar de stofwisseling het levendigst is.

Maar behalve die rijkelijke verbreiding van het bloed door de weefsels is er nog een ander vereischte van niet minder belang. Het fijnste en best gevulde vaatnet zou nog niets beteekenen, wanneer het bloed daarin stilstond. Het bloed moet voortdurend in beweging zijn; juist zijn voorname physiologische beteekenis als vervoermiddel maakt dat noodzakelijk. De toevoer van zuurstof toch tot de weefsels moet onophoudelijk voortgaan. Maar de voorraad zuurstof in het bloed is slechts beperkt. Zoodra dus het bloed in een zeker weefsel stilstond, zou het binnen zeer korten tijd zijn zuurstof hebben afgegeven. Evenzoo met het voedsel; ook daarbij moet de toevoer onophoudelijk voortgaan, ofschoon hier misschien een tijdelijke staking in dien toevoer niet terstond die gewichtige stoornis bewerken zou als een staking in den zuurstoftoevoer. Eveneens moeten eindelijk de omzettingsprodukten onophoudelijk worden weggevoerd, wanneer ze niet door ophooping in de weefsels schadelijk zullen gaan werken. Omdat het bloed een vervoermiddel is voor zuurstof, voor voedsel, voor omzettingsprodukten, daarom moet het uit den aard der zaak onophoudelijk in beweging zijn.

Weinig vermoeden we, zoo we gezond zijn, van dien snel jagenden bloedstroom binnen in ons; we kunnen het ons moeielijk duidelijk voorstellen, hoe in onze groote vaten die bloedstroom onophoudelijk nacht en dag voortschiet met een snelheid van dertig centimeters per seconde, en hoe in elk deel van ons lichaam die stroom zonder ophouden in mikroskopische golven voortrolt, tot op het oogenblik, waarop met dien bloedstroom ook het levensuurwerk stilstaat.

Laat ons met dat merkwaardig mechanisme nader kennis maken.

Stellen we ons voor een buis A, Fig. 7, die bij B zich al fijner en fijner vertakt. Uit die vertakkingen ontstaat weer, door samenvloeiing en vereeniging der kleinere buisjes, de hoofdbuis C, die weêr uitloopt in A, zoodat het geheel een gesloten, in zich zelf terugkeerend geheel vormt. Stel nu, dat die buis met vloeistof gevuld is en dat een gedeelte van die buis (b.v. R) afwisselend vernauwd en verwijd wordt, dan zal tengevolge daarvan de ingesloten vloeistof in beweging komen. Doch die beweging zal niet steeds dezelfde richting hebben. Wanneer door de vernauwing van R de vloeistof daaruit wordt geperst, zal zij zoowel naar A als naar C uitwijken, en dus in die beide buizen een verschillende richting aannemen. Wanneer de vloeistof in het geheele buizenstelsel steeds in een en dezelfde richting zich zal bewegen, dan moeten er kleppen aangebracht zijn, aan weêrskanten van R, die de beweging slechts in één richting toelaten. De klep *a* laat alleen vocht door in de richting van het pijltje en belet dus, dat er bij de vernauwing van R vocht naar C stroomt. Evenzoo zal de klep *b* den stroom doorlaten in de richting van het pijltje, maar tegenhouden wanneer er vocht uit A in R terug wil stroomen. Om dus met zulk een inrichting een in zich zelf terugkeerenden stroom voortdurend in een en dezelfde richting te onderhouden, wordt er een pompwerk (en als zoodanig werkt het gedeelte R) met minstens twee kleppen vereischt.

Fig. 8.

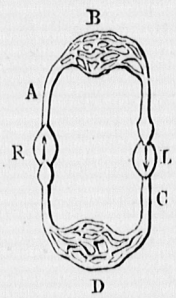
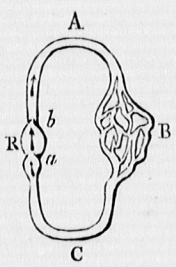


Fig. 7.



Veronderstelt nu, dat ons buizenstelsel zich niet alleen bij B ver-

takt, maar dat de buis C, vóórdat zij naar A terugkeert, bij D een dergelijke vertakking vormt, Fig. 8, dan zal hierdoor op den weg van den stroom een weêrstand aangebracht zijn en het pompwerk R zal niet meer voldoende zijn om door zulk een buizenstelsel met twee vertakkingen (B en D) den stroom met dezelfde kracht te onderhouden. Want hoe fijner de kanalen zijn, waardoor het vocht stroomt, des te grooter is de wrijving en daarmede de weerstand, die overwonnen moet worden. Wanneer dus onder zulke omstandigheden de stroomsnelheid dezelfde zal blijven, moet er in de buis C vóór hare vertakking een tweede pompwerk L worden aangebracht en dit moet, even als R, met twee kleppen voorzien zijn, die den stroom dwingen voortdurend in dezelfde richting te loopen.

Wanneer wij nu verder in deze schematische figuur de beide pompwerken R en L bij elkâar brengen en aan elkâar laten vastgroeien, dan zouden we daarmede een ruwe voorstelling hebben van den bloedsomloop in het lichaam. Het pompwerk R en L zou het hart zijn. De afdeeling R, het rechter hart, perst het bloed door de vertakking bij B, die het vaatnet der longen voorstelt. Het daaruit terugkeerende bloed komt in de afdeeling L, het linker hart, en wordt daardoor geperst in en door de vertakking D, die het vaatnet van het overige lichaam voorstelt. Vandaar keert het bloed weer naar het rechter hart terug, om van daaruit weêr denzelfden loop te beginnen. Het rechter hart zou men dus het hart voor de longen, het longenhart, kunnen noemen, omdat het de kracht levert, die het bloed door het vaatnet der longen drijft. En evenzoo zou het linker hart, het hart voor het lichaam, het lichaamshart kunnen heeten, omdat het het bloed door de vaatnetten van al de overige organen in het lichaam drijft.

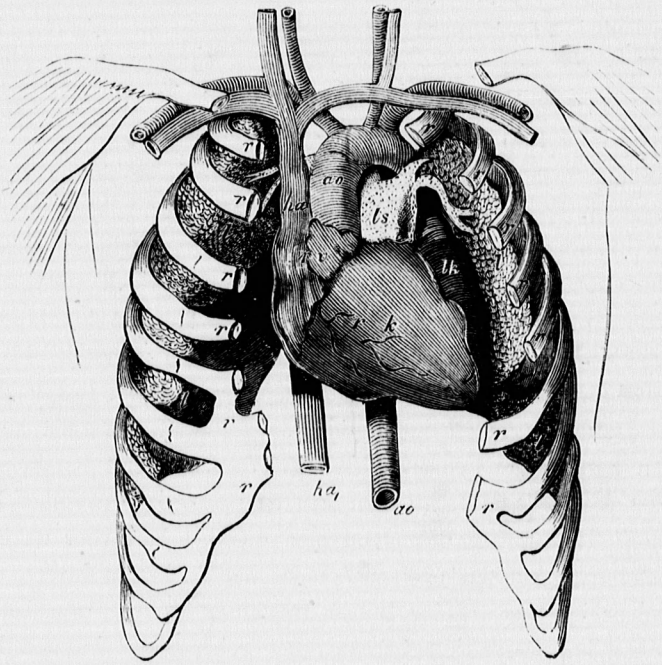
Dat alles echter zijn maar dorre, ofschoon niet geheel nuttelooze schema's, die we zullen daarlaten, om in het levend lichaam zelf nadere opheldering te zoeken.

Voorloopig trouwens zullen we daartoe met een dood lichaam kunnen volstaan. Want het is ons in de eerste plaats te doen om de ligging en het uiterlijk van het hart te leeren kennen. Ongeveer weet ieder wel dat het hart in de borst ligt, doch verder dan tot dit zeer sobere weten hebben de meesten het in de kennis van hun eigen hart niet gebracht. En ze mogen zich gelukkig rekenen, dat ze

't uit eigen ervaring niet nauwkeuriger weten. De arme lijder aan een hartkwaal, wien, telkens en telkens weer, de voelbare kloppingen van zijn hart de plaats daarvan maar al te duidelijk verraden, zou gaarne die hem opgedrongen kennis tegen hunne meer gelukkige onkunde ruilen.

Om het hart in zijn natuurlijke ligging te zien, zouden we van

Fig. 9.



Het hart in de van voren opengelegde borstholte,
(het hartezakje weggenomen).

r de doorgesneden ribben.	*ha* bovenste holle ader.
l de longen.	*ha,* benedenste holle ader.
rv rechter voorkamer.	*ls* longslagader.
rk rechter kamer.	*ao* aorta.
lk linker kamer.	

(De longaderen en de linker voorkamer zijn in dezen stand niet zichtbaar, een klein stukje van de laatste komt boven de linker kamer te voorschijn.)

de voorzijde der borst huid en spieren moeten wegnemen. We zouden dan al spoedig stuiten op het borstbeen, waaraan van weerszij-

den de ribben verbonden zijn. Ook dat zou moeten worden weggenomen, met de voorste einden der ribben. We zouden dan den voorwand van de borstkast hebben verwijderd en den inhoud van die lichaamsholte kunnen overzien. Er zou zich ons dan een schouwspel aanbieden ongeveer zooals de schets in fig. 9 het op kleine schaal voorstelt.

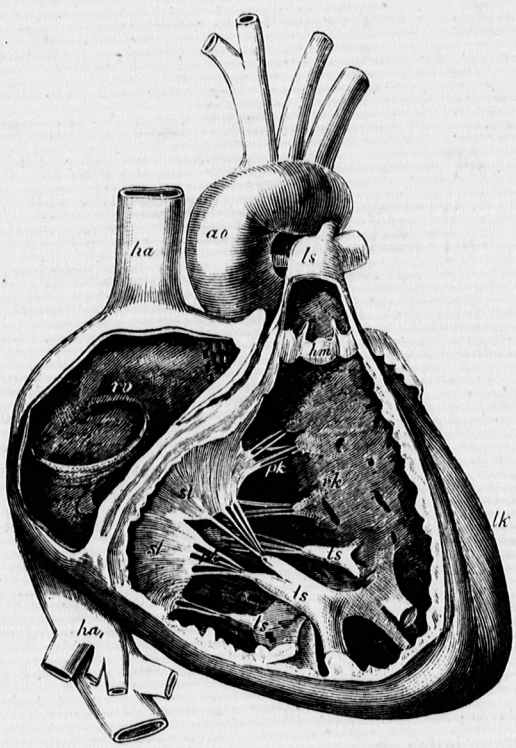
Aan weerszijden liggen de lichtrood gekleurde longen, die we gemakkelijk, door ze met lucht op te blazen, hun natuurlijk volume, dat ze door de opening der borstkas verloren hebben, kunnen hergeven. Daartusschen ligt, meer of minder door de longen bedekt, al naarmate deze meer of minder met lucht zijn opgevuld, het hart. Dat ziet er donkerrood uit, een vleeschklomp eenigszins in den vorm van een peer en zoo groot als een flinke vuist. De punt van de peer ligt naar links en beneden, terwijl het breede gedeelte naar rechts en boven gekeerd is, zoodat het geheele hart wel eenigszins schuin in de borstkas ligt, maar volstrekt niet gezegd kan worden uitsluitend in de linker helft te liggen. De oorzaak van deze algemeen verbreide voorstelling zullen we straks nog nader zien.

Buiten om dat hart zien we een stevig vlies dat er als een losse zak omheen loopt, het hartezakje. Eerst wanneer dit geopend is, kunnen we het hart zelf van buiten meer nauwkeurig waarnemen. We bemerken dan al spoedig aanduidingen er van, dat wij niet met een massieven vleeschklomp te doen hebben, maar dat er afdeelingen in voorkomen, die zich reeds van buiten, hetzij door meer of minder kenbare gleuven, hetzij door meer of minder stevigheid van wand kenmerken. Een nader onderzoek zou ons leeren, dat de peervormige zak door een overlangsch tusschenschot in twee helften, één rechter en linker, verdeeld is, waarvan de rechter helft bij de beschouwing van voren het meest voor den dag komt. Loodrecht op dat tusschenschot moeten we ons een tweede denken, waardoor dus de rechter en linker helft elk weer in twee afdeelingen, een voorkamer en kamer worden gesplitst.

Wij zien nu verder aan het breede einde een aantal groote bloedvaten in het hart uitmonden. Vooreerst ontvangt de rechter voorkamer twee groote aderen, de bovenste holle ader, die van boven komt, en de benedenste holle ader, die we uit de buikholte zien

opstijgen. Laat ons bij de beschrijving van het inwendige van het hart ons voorstellen, dat we door een van die beide vaten zijn komen aanwandelen, en ons dus in de rechter voorkamer bevinden, Fig. 10. Wij zijn dan in een holte, waarvan de wand niet glad is; maar met allerlei

Fig. 10.



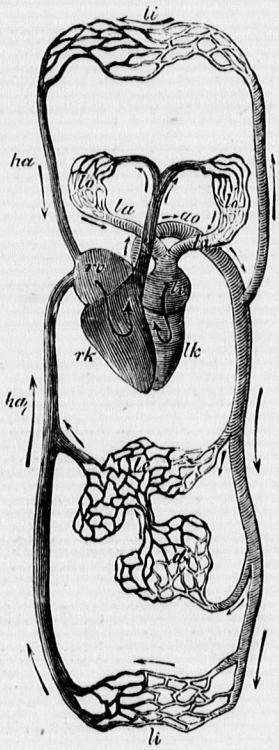
Het rechter hart geopend.

ha bovenste holle ader.
ha, benedenste holle ader.
rv rechter voorkamer.
rk rechter kamer.
sl sl twee slippen van de drieslippige klep (de derde slip ziet men in de diepte).
pk peeskoorden.
ts tepelvormige spieren.
ls longslagader (het begin er van geopend).
hm halfmaansgewijze klep daarin.
lk linker kamer.
ao aorta.

uitspringende vleeschrichels is voorzien, die geen regelmatig verloop doen opmerken. Zoeken we nu uit die holte een uitweg, dan wijst zich ons die van zelf, want een groote opening voert ons in de

rechter kamer. Daar aangekomen, bemerken we een wand met nog veel sterker uitspringende vleeschmassa's dan in de voorkamer. Sommige van die vleeschmassa's zijn tepelvormig (*t s*) en loopen uit in stevige witte draden (*p k*), die aan uitgebreide vliezige slippen bevestigd zijn, en die slippen zelf gaan uit van de randen der opening, waardoor we zoo even uit de voorkamer zijn gekomen. Er zijn drie van die slippen; ze hangen nu min of meer slap naar beneden in de holte van de kamer. Maar het laat zich licht inzien, dat, wanneer zij gespannen zijn en tegen elkaar sluiten, zij de opening tusschen kamer en voorkamer kunnen afsluiten. Zij vormen te zamen de driesslippige klep.

Fig. 11.



Schema van den bloedsomloop.
ha bovenste holle ader.
ha, benedenste holle ader.
rv rechter voorkamer.
rk rechter kamer.
ls longslagader.
lo lo vaatnet der longen.
la longaderen.
lv linker voorkamer.
lk linker kamer.
ao aorta.
d vaatnet van den darm.
le vaatnet van de lever.
li vaatnetten van het overige lichaam.

Als wij nu de rechterkamer willen verlaten, dan biedt zich ons daartoe een andere opening aan, gelegen naast de drieslippige klep. Die opening brengt ons in de long-slagader. En ook daarbij passeeren wij tusschen drie vliezige slippen door. Deze zien er uit als zakjes, ongeveer te vergelijken met portierzakken, die aan den wand der slagader bevestigd zijn en wel zoo, dat hun gesloten einde naar de kamer gekeerd is en hun open einde naar de slagader. Zij vormen de rechter halfmaansgewijze klep. Door de long-slagader voortgaande, komen wij in de long.

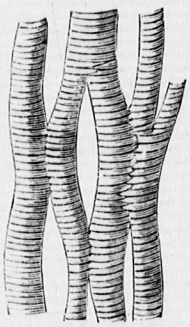
Verondersteld dat wij het vaatnet daarvan ongehinderd passeeren en door de longaderen (waarvan

er vier zijn) weer in de linker voorkamer arriveeren. Dat is een holte in alle opzichten met de rechtervoorkamer overeenkomende. Zij geeft door eene groote opening toegang tot de linker kamer, welke opening eveneens voorzien is van een uit slippen bestaande klep. De slippen zijn even als in het rechter hart eensdeels aan den rand der opening bevestigd, en zijn met hun andere einde door pezige draden aan de vleesch-uitsteeksels van den kamerwand verbonden. Er zijn hier echter maar twee slippen, vandaar dat deze klep de twee-slippige klep heet. Uit de linker kamer kunnen we eindelijk in de groote lichaam-slagader of aorta komen en passeeren daarbij de linker halfmaansgewijze klep, die evenals de gelijknamige aan den rechterkant is ingericht.

Wanneer wij nu, van de aorta uitgaande, steeds de bloedbaan verder volgden, altijd in dezelfde richting, dan zouden we eindelijk weer in een der beide holle aderen te land komen en zoo een met den bloedsomloop overeenkomstigen kringloop hebben afgelegd.

Bij onze reis door het hart hebben we van de wanden der hartholte eenvoudig gesproken onder den naam van "vleesch". Dat woord eischt nog een korte uiteenzetting.

Fig. 12.



Spiervezels van het hart.

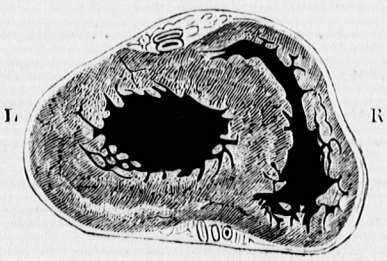
Wat wij vleesch noemen is voor het grootste deel spierweefsel. Dat spierweefsel bestaat uit bundels van parallel loopende vezels, spiervezels, zooals we bij het uitpluizen van het eerste het beste stukje taai mager vleesch kunnen zien. De fijnere bouw van die spiervezels gaat ons hier voor het oogenblik minder aan [1]; wij vestigen er alleen de aandacht op, dat zij in den levenden toestand contractiel zijn, d. i. zich kunnen verkorten. De wanden van het hart nu bestaan uit vele lagen spiervezels, die in allerlei richtingen rondom de hartholte loopen. Wanneer zulke spiervezels bij de samentrekking korter worden, zal daardoor de holte, die zij omsluiten, nauwer worden, en op het bloed, dat in

[1] De spiervezels van het hart vertoonen een eigenaardigheid, die bij de meeste overige spieren ontbreekt. De vezels nl. zijn vertakt en staan zoodoende onmiddellijk met elkaar in verband, zooals ook uit fig. 12 blijkt. Bij de overige spieren loopen de vezels onvertakt parallel naast elkander.

die holte bevat is, wordt zoodoende een drukking uitgeoefend, die het zal doen uitwijken in de richting, waarin dat uitwijken mogelijk is. De samentrekking dus van de spiervezels van het hart zal dezelfde werking uitoefenen als het neerdrukken van den zuiger in een perspomp; in beide gevallen wordt de ruimte, waarin het vocht bevat is, verkleind en dit tot uitwijken gedwongen.

Daar dus de geheele kracht der hartwerking moet uitgaan van den spierwand, wordt het begrijpelijk, dat deze een verschillende ontwikkeling toont, al naarmate de verschillende afdeelingen van het hart meer of minder krachtig moeten werken. Zoo bestaat de wand der beide voorkamers slechts uit een betrekkelijk dunne laag spierweefsel, want deze behoeven het bloed slechts in de naast aanliggende kamer te persen, en dat wel door een wijde opening, waarvoor dus betrekkelijk weinig kracht vereischt wordt. Veel sterker is de spierwand van de rechter kamer ontwikkeld, want de hierdoor uitgeoefende kracht moet voldoende zijn om het bloed een veel grooteren weg te doen afleggen en door het sterk vertakte vaatnet der longen te persen. En eindelijk is de wand van de linker kamer nog weer veel dikker, omdat het hierdoor uitgeperste bloed langs de veel langere en door hare sterkere vertakking meer weerstand biedende baan van het vaatnet van het geheele lichaam gevoerd moet worden.

Fig. 13.



Dwarse doorsnede der beide hartekamers, om de verschillende dikte der wanden te toonen. De inwendige holten der kamers zijn zwart.

R = rechts. L = links.

Maar we willen niet alleen kennis maken met het doode werktuig; ook het levende hart willen wij, zoo dat mogelijk is, zien werken. Bij den mensch is dat trouwens niet wel doenlijk. Slechts een enkel geval bestaat er van iemand, bij wien het hart wel niet op de tong lag, maar toch, schoon op de gewone plaats aanwezig, zoozeer bloot

lag, dat men het kon zien kloppen. Vóór omstreeks dertig jaar reisde een zekere GROUX Europa rond, die zijn merkwaardige borst door belangstellenden liet bezichtigen. Bij hem ontbrak namelijk een groot gedeelte van het borstbeen, of eigenlijk was het wijd gespleten. De voorwand van zijn borstkas was dus voor een groot gedeelte niet beenig, maar vliezig, en zoodoende kon men in die spleet de bewegingen van het daaronder liggende hart eenigermate waarnemen.

Bij gebrek echter van een GROUX zullen wij ons met een dier tevreden stellen, waarbij wij trouwens dan ook het hart veel duidelijker kunnen blootleggen. Gesteld, dat we bij een zoogdier den voorwand van de borstkas gedeeltelijk wegnemen en door kunstmatige ademhaling de stoornis verhelpen, die die verwonding in de ademhaling teweeg brengt, dan kunnen we het levende hart waarnemen, zoolang wij willen. De bewegingen hebben echter bij de kleine dieren, die gewoonlijk tot zulke proeven dienen (konijnen en dergelijke), zoo snel plaats, dat het moeielijk valt er zich behoorlijk rekenschap van te geven. Eerst bij nauwkeurig onderzoek zien wij er iets meer in dan een onregelmatig heen en weer trillend vleeschklompje. De beide voorkamers trekken zich gelijktijdig samen, terwijl de kamers verslapt zijn. Onmiddellijk daarna heeft de samentrekking der kamers ook weer aan beide harthelften gelijktijdig plaats, en ondertusschen verslappen de voorkamers weêr. Is de samentrekking der kamers afgeloopen, dan duurt het een zeer kort oogenblikje vóór dat de samentrekking der voorkamers weer begint. De verschillende phasen van een hartslag zouden zich dus ongeveer als volgt laten voorstellen, waarbij hetgeen gelijktijdig plaats heeft naast elkaâr geschreven is:

1e phase. . .	Voorkamers samengetrokken.	Kamers verslapt.
2e phase. . .	Voorkamers verslapt.	Kamers samengetrokken.
3e phase. . .	Voorkamers verslapt.	Kamers verslapt.

Er is dus gedurende elken hartslag een kleine tijdsruimte, in welke het geheele hart verslapt is en dus alle afdeelingen zich met bloed kunnen vullen. Doch gedurende het overige gedeelte zijn altijd de kamers in tegengestelden toestand als de voorkamers; als de eersten zich samentrekken, verslappen de tweeden, en omgekeerd.

Dat kunnen we nu van buiten aan het hart waarnemen. Wat gebeurt er ondertusschen binnen in?

Een hartafdeeling, die zich samentrekt, perst het bloed, dat er in bevat is, uit; een afdeeling, die verslapt, kan volloopen met een nieuwen voorraad bloed. De vulling heeft dus plaats gedurende de verslapping, de ontlediging gedurende de samentrekking.

Laat ons nu het bloed volgen op zijn weg door het hart, uitgaande van de voorkamers. De beide voorkamers, rechter- en linker-, verslappen gelijktijdig; daarbij loopen ze vol bloed, de rechter voorkamer uit de beide holle aderen, de linker voorkamer uit de longaderen. Na een oogenblikje beginnen ook de beide kamers te verslappen, zoodat ook deze dan passief zich met bloed beginnen te vullen. Op het einde der verslapping van de voorkamers nu zijn deze zoo sterk mogelijk uitgezet en met bloed gevuld; de kamers hebben pas hunne verslapping begonnen en bevatten wel reeds eenig bloed, maar zijn nog op verre na niet volledig gevuld. Nu beginnen de beide voorkamers, rechter en linker gelijktijdig, hunne samentrekking. Het bloed dat er in is, wordt dus gedrukt en zal moeten uitwijken. Daarvoor staan nu twee wegen open, of het kan in de kamers stroomen, of het kan in de aderen terug stroomen. Volgde het den laatsten weg, dan was er klaarblijkelijk niets gewonnen, want het bloed zou dan eenvoudig terugkeeren, waar het zoo even bij het instroomen in de voorkamers van daan gekomen was. In de werkelijkheid stroomt er dan ook weinig of geen bloed in de aderen terug, maar alles wijkt bij de samentrekking der voorkamers slechts één kant uit en stroomt in de kamers. Hoe komt dat? Hoe wordt het terugstroomen in de holle aders en de longaderen belet? Kleppen doen dat niet, want die zijn of niet of zeer onvolkomen aanwezig. De hoofdzaak schijnt hierbij deze te zijn, dat de samentrekking der voorkamers uitgaat van de inmonding der aderen, zoodat deze openingen door de samentrekking der omringende spiervezels eenigermate worden afgesloten en zoodoende dus het terugstroomen in de aderen wordt belemmerd.

Hoe dit ook zij, de samentrekking der voorkamers perst het bloed in de kamers, die daardoor volledig worden gevuld. Zoodra dit nu het geval is, zoodra de voorkamers hunne samentrekking geëindigd hebben en al hun bloed hebben uitgeperst, begint de samentrekking der kamers, ook weer van beide gelijktijdig. Zoodra nu daardoor het bloed in de kamers onder hoogere drukking komt, zul-

len de twee- en drie-slippige klep zich sluiten. Het bloed drukt de slippen tegen elkaar en verspert zich daardoor den terugweg in de voorkamers. De peezige koordjes, waarmede de klepslippen aan den kamerwand bevestigd zijn, beletten het terug slaan van de kleppen in de voorkamer. Er staat dus maar een uitweg voor het bloed open, en wel uit de rechterkamer in de longslagader, uit de linkerkamer in de aorta. De halfmaansgewijze kleppen laten daarbij de passage vrij. Doch zoodra de kamers hunne samentrekking geëindigd hebben en weer beginnen te verslappen, worden de zakjes der halfmaansgewijze kleppen door het aandringende bloed opgevuld, leggen zich tegen elkaar en sluiten de opening af, zoodat er geen druppel bloed uit de slagaderen in de kamers terugstroomt. Zoo gaat datzelfde spel in dezelfde volgorde onafgebroken voort. Het bloed wordt dus door de kleppen gedwongen altijd in dezelfde richting door het hart te stroomen, en wel van de aderen naar de slagaderen. De reeks van opvolgende verschijnselen, die daarbij plaats hebben aan voorkamers en kamers, heet een hartslag. Gedurende een hartslag moet dus één samentrekking en verslapping, zoowel van voorkamers als van kamers plaats hebben. Van de snelheid, waarmede die bewegingen moeten geschieden, kan men zich ongeveer een denkbeeld maken door te bedenken, dat een enkele hartslag nog geen seconde duurt; er hebben er namelijk bij den mensch gemiddeld twee en zeventig per minuut plaats. In dien tijd van $^5/_6$ seconde moeten dus eerst de beide voorkamers zich samentrekken; daarop volgt onmiddellijk de samentrekking der beide kamers, en dan het kleine oogenblikje pauze, waarin het geheele hart verslapt is, d. i. waarin de voorkamers aan het einde, de kamers aan het begin hunner verslapping zijn.

Om de snelheid van opeenvolgende hartslagen waar te nemen, hebben wij geen bloot gelegd hart noodig, maar kunnen dat zonder eenige operatie aan onze eigen borst voelen. Bij de samentrekking der kamers namelijk wordt het hart harder en vaster, zooals elke spier, die zich samentrekt. En daar dat hard worden plotseling gebeurt, voelt men op de plaats waar de punt van het hart tegen den borstwand ligt, een zwakken stoot, de hartstoot. Meestal is die in de tusschenruimte tusschen de vijfde en zesde rib duidelijk voelbaar. En niet alleen dat wij de hartbeweging kunnen voelen, wij kunnen

haar ook hooren. Het op den borstwand in de hartstreek opgelegde oor hoort duidelijk twee snel op elkaar volgende tonen, de *harttonen*. Die geluiden worden hoofdzakelijk door de werking der kleppen veroorzaakt. Zij zijn voor den geneeskundige onschatbare hulpmiddelen bij het onderzoek van de ziekelijke stoornissen van het hart. Immers het laat zich licht begrijpen, dat afwijkingen in den bouw en de werking der deelen van het hart op die tonen niet zonder invloed zullen zijn.

DE BLOEDSTROOM IN DE VATEN.

Onze beschouwing van de werking van het hart heeft ons een oppervlakkig denkbeeld kunnen geven van de wijze, waarop het bloed in de organen wordt voortbewogen. Maar daarbij hebben wij nog op verre na geen volledig denkbeeld van den bloedstroom zelf, zooals die in de vaten werkelijk plaats heeft.

Uit het hart ontspringt de groote lichaamsslagader of aorta. Deze zendt al spoedig na haar oorsprong aanzienlijke takken naar het hoofd en de armen en loopt dan vóór de ruggegraat naar beneden, waarbij zij aan de buikingewanden takken afgeeft en hare eindtakken naar het bekken en de beenen zendt. Al die grootere en kleinere takken begeven zich naar de verschillende organen van het lichaam, vertakken zich daarin al fijner en fijner, en lossen zich eindelijk op in een netwerk van zeer fijne zoogenaamde *haarvaten* of *capillairen*. Uit dat netwerk vormen zich dan weer kleine aderen, door samenvloeiing van deze weer grootere, totdat eindelijk alle aderen zich tot de beide groote holle aderen vereenigen, die het bloed naar de rechter voorkamer terugvoeren. In de slagaderen dus stroomt het bloed *van het hart naar de organen toe*, in de aderen stroomt het *van de organen naar het hart terug*. Tusschen slagaderen en aderen heeft de gemeenschap plaats door middel van haarvaatnetten; om uit de slagader in een ader te komen, moet het bloed altijd een of ander haarvaatnet passeeren.

Nu gedraagt zich de bloedstroom in die verschillende afdeelingen van het vaatstelsel zeer verschillend. Wanneer er een ader gewond wordt, dan ontstaat er wel is waar een bloeding en dikwijls een zeer belangrijke, maar het bloed vloeit uit de wonde in een gelijkmatigen, om het zoo uit te drukken, bedaarden stroom, die, wanneer het gekwetste adertje maar klein is, meestal na eenigen tijd van zelf ophoudt.

Geheel anders daarentegen, wanneer er een slagader, al is het ook maar een kleine, wordt geopend. Dan spuit de bloedstraal met groote kracht omhoog, soms verscheidene voeten ver. En daarbij is die straal niet gelijkmatig, maar wij zien hoe met elken hartslag een versterking daarvan optreedt, hoe het bloed niet in een gelijkmatigen stroom, maar in golven uit de wonde spuit.

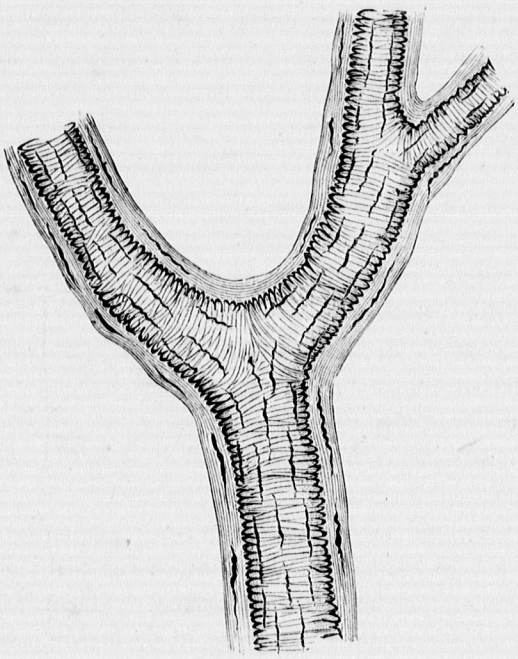
Klaarblijkelijk wordt uit de laatste wonde het bloed met veel grooter kracht uitgespoten dan uit de aderlijke wonde, of, zooals wij het gewoonlijk uitdrukken, het bloed staat in de slagaderen onder grooter drukking dan in de aderen. Hoe komt dat? Dat is ons eerste vraagstuk wat wij zullen hebben op te lossen.

En dan zullen we tevens een andere vraag moeten beantwoorden. Wanneer we namelijk den bloedstroom in de fijnere vaten onder het mikroskoop zien, dan zien wij daar een gelijkmatig voortgaande strooming, die nimmer, ook maar een oogenblik, stilstaat. De oorzaak van die bloedbeweging nu is te zoeken in de linker kamer, die het bloed in de aorta en van daar door het geheele lichaam perst. Toch werkt die linker kamer niet onafgebroken, maar met afwisselende samentrekking en verslapping. Alleen bij de samentrekking der kamer wordt het bloed in de slagaderen geperst. Als de kamer verslapt is, kan ze klaarblijkelijk tot voortbeweging van het bloed in de slagaderen niets bijdragen. De linker kamer werkt dus intermitteerend en levert toch een continueelen bloedstroom. Hoe is dat te verklaren? Welke is de kracht, die het bloed voortdrijft gedurende de verslapping der kamer? Ziedaar ons tweede probleem, dat wij tegelijk met het eerste zullen trachten te beantwoorden.

Daartoe dienen we in de eerste plaats eenig denkbeeld te hebben omtrent den bouw der bloedvaten. De bloedvaten zijn namelijk niet, zooals de metalen buizen van een waterleiding, passieve geleiders voor het vocht, dat er in besloten is, maar spelen een veel gewich-

tiger rol. Het zijn vliezige buizen, waarvan de wand uit verscheidene lagen bestaat. In de grootere slagaderen nu spelen bij den bouw van dien wand de zoogenaamde elastische vezels een hoofdrol; zij bewerken dat de wand dier vaten zeer rekbaar is en na de uitrekking haar vroegere afmetingen zeer volkomen kan hernemen. Daarbij is de slagaderwand tamelijk dik en stevig, zoodat bij het doorsnijden van een slagader de buis niet samenvalt, maar open blijft staan. Bij een ader daarentegen, wier wand veel dunner en slapper is, zal, wanneer door een wonde het vat zijn inhoud ontlast, de buis plat samenvallen. Door dien stevigen elastischen wand wordt het begrijpelijk, dat, wanneer een slagader met vocht sterk gevuld is, zoodat ze min of meer is uitgezet, de elastische kracht van den wand een aanzienlijke drukking op den inhoud kan uitoefenen.

Fig. 14.



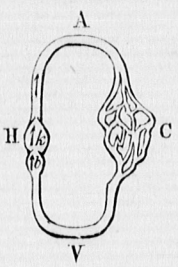
Een slagader met haar uit verschillende lagen bestaanden wand. In de figuur is de buitenste en de middelste laag zichtbaar.

Vóór dat we nu verder gaan, moeten we nog de aandacht vestigen op het volgende feit, dat voor de beweging van vloeistoffen in buizen in het algemeen geldt en dus ook van toepassing is op de bloedbeweging. Wanneer een vloeistof in een onvertakte buis zich voortbeweegt, dan zal de wrijving van de vloeistof tegen den wand der buis dezelfde blijven zoolang de buis dezelfde wijdte behoudt. Wanneer echter de buis zich in een aantal kleinere vertakt, dan zal in die nauwere buizen de weerstand naar evenredigheid toenemen,

zoodat de wrijving, die de stroom, als een geheel gerekend, heeft te overwinnen, veel grooter wordt. Ieder weet dat om een zekere hoeveelheid vloeistof door een netwerk van samenhangende kanaaltjes te drijven, in denzelfden tijd veel meer kracht vereischt wordt, dan om die zelfde hoeveelheid vloeistof door een enkele wijdere buis te persen, ook dan zelfs wanneer de wijdte van het totaal der kleine kanaaltjes meer bedraagt dan de wijdte van de enkele buis.

Laat ons nu, met deze kennis gewapend, onze beide vraagstukken van zoo even trachten op te lossen. In de schematische figuur 15 stelt H het hart voor met een voorkamer (*b*) en een kamer (*k*); A stelt voor het slagaderlijk stelsel, C de fijnere en grovere vertakkingen daarvan in de weefsels, en V de aderlijke vaten, die het bloed weer naar het hart terugvoeren. Stellen we ons nu voor, dat op een zeker oogenblik al de deelen van dit buizen-stelsel met bloed zijn gevuld. Nu begint het hart te werken; de kamer *k* trekt zich samen en tegelijk verslapt de voorkamer *b*. De inhoud van *k* zal dus plotseling in A worden geperst en uit V zal een zekere hoeveelheid bloed wegvloeien, dat in *b* wordt opgenomen. In A neemt dus de hoeveelheid bloed toe, en dientengevolge wordt de elastische buis A uitgezet. In V neemt de hoeveelheid bloed af. Wanneer nu A en V bij C door een wijde buis samenhingen, dan zou het in A ingeperste onmiddellijk door die buis naar V overloopen en het evenwicht in het geheele buizen-stelsel zou daardoor terstond hersteld zijn; de hoeveelheid die uit V naar *b* was weggevloeid, zou terstond weer van uit A worden aangevuld. Maar nu staan A en V door een fijn netwerk van vertakte kanalen met elkaar in verband, daarin vindt het bloed een zekeren weerstand, zoodat niet oogenblikkelijk de geheele in A ingeperste hoeveelheid naar V kan overvloeien. Vóór dat nu dat overvloeien geheel heeft plaats gehad, vóór dat dus het slagaderlijk stelsel zich geheel van de ingeperste hoeveelheid heeft kunnen ontlasten, komt er een nieuwe hartslag. De kamer *k*, die ondertusschen van uit *b* is gevuld, trekt zich weer samen en perst een nieuwe portie bloed in A. Tevens zal door de verslapping van de voorkamer een nieuwe portie bloed uit V worden weggenomen. De hoeveelheid bloed in A neemt dus nog verder toe, de elastische

Fig. 15.



wand wordt nog sterker uitgezet, en de drukking, door de elastische samentrekking van dien wand op het bloed uitgeoefend, wordt nog grooter. Het bloed komt dus in A onder een nog grootere drukking. Daardoor zal de strooming in het vertakte vaatnet C wel bevorderd worden, maar nog gaat zij niet schielijk genoeg om de geheele in A ingeperste hoeveelheid spoedig naar V te doen overstroomen. Vóór dat dat volledig heeft plaats gehad, komt er weer een nieuwe hartslag.[1] Een nieuwe samentrekking van *k* perst weer een nieuwe portie bloed in A, daardoor neemt de drukking in het slagaderlijk stelsel nog meer toe, en die in het aderlijk stelsel wordt weer minder. En zoo gaat het voort; elke volgende hartslag zal de hoeveelheid bloed in A doen toenemen, en de daar bestaande drukking vergrooten. Al grooter wordt die drukking, maar daarmede ook al sneller de afvloeing door C, totdat eindelijk die graad van drukking bereikt is, waarbij in den tijd, die er tusschen twee hartslagen verloopt, juist evenveel bloed uit A door C wegvloeit, als de voorafgaande hartslag in A heeft ingeperst. Dan is er een toestand van blijvend evenwicht bereikt, maar een toestand, waarbij de spanning van het bloed in A, in de slagaderen, veel grooter is, dan in V, in de aderen. Elke volgende hartslag zal nu dat evenwicht niet blijvend wijzigen, uit *k* wordt een portie bloed in de slagaderen ingeperst, maar vóór dat het tot een nieuwen hartslag komt, vloeit een gelijke portie door de haarvaten uit de slagaderen weg, zoodat een blijvende vermeerdering van drukking niet ontstaat. Evenzoo zal bij elke verslapping van de voorkamer een portie bloed uit de aderen in het hart afvloeien; maar het aldus weggevloeide wordt weer aangevuld doordat er vóór het tot een nieuwe verslapping komt, juist evenveel bloed uit de haarvaten in de aderen overvloeit. Die blijvende toestand kan echter alleen bestaan op voorwaarde, dat in de slagaderen een grootere drukking heerscht dan in de aderen. De hartwerking onderhoudt voortdurend dat verschil in drukking door in de slagaderen bloed in te persen, en uit de aderen bloed weg te nemen. Elke vloeistof nu beweegt zich in de richting van de geringste drukking, en zoodoende zal, daar het verschil in drukking blijvende is, ook een voortdurende stroom ontstaan uit de slagaderen door de haarvaten naar de aderen.

Daarmede is ons vraagstuk van straks vrij bevredigend opgelost,

meen ik. De stootsgewijze hartwerking bewerkt een voortdurende strooming, maar alleen door medewerking van de elasticiteit der slagaderen. Die elastische kracht is het eigenlijk, die het bloed door de fijnere vaten in een gelijkmatigen stroom voortdrijft. Doch die elasticiteit kan zich eerst uiten, wanneer de slagaderen door de opvolgende hartstooten met bloed volgeperst en daardoor uitgezet worden. Wij hebben hier dus een dergelijke werking van elasticiteit als bij den windketel van de brandspuit. Ook daar immers wordt door de elastische kracht der samengeperste lucht een gelijkmatige waterstraal onderhouden, ofschoon de beweging van de perspomp niet voortdurend gelijkmatig, maar afwisselend is.

Wij zien dus van hoe groot belang voor het tot stand komen van den eigenlijken bloedstroom de elasticiteit der slagaderen is, en tevens hoe noodzakelijk het is, dat in de slagaderen het bloed onder eene grootere spanning staat dan in de aderen. En dat dit verschil in spanning zeer aanzienlijk is, blijkt uit het straks vermelde feit, dat uit een gewonde slagader het bloed met groote kracht hoog op spuit, en uit een ader niet. Bovendien heeft men zich door opzettelijke proefneming van dat verschil in spanning overtuigd, door namelijk de slagader van een levend dier in verband te brengen met een manometer, meestal een Uvormig gebogen buis met kwik gevuld. Het bleek dan dat bij grootere dieren, b. v. bij het paard, de drukking in de grootere slagaderen zoo sterk was, dat zij het kwik twee á drie honderd millimeter omhoog kon persen. Een dergelijke drukking, misschien iets geringer, mogen wij gerust ook voor de slagaderen van den mensch aannemen. Werd daarentegen de manometer met een ader verbonden, dan bleek het, dat de bloeddrukking in zulk een vat niet in staat was om het kwik meer dan hoogstens een paar millimeters omhoog te drijven.

Maar er is nog een ander opzicht, waarin de bloedbeweging in de slagaderen van die in de aderen verschilt. Als gij uw vinger legt op een van de grootere aderen, die dicht onder de huid over den rug van de hand en den voorarm loopen, dan ziet ge dat bij eenigzins sterkere drukking dat gedeelte van de ader wat van het hart afgekeerd is, opzwelt. Natuurlijk; door de samendrukking met den

vinger belet gij den bloedstroom in de ader, en het bloed zal zich voor uw vinger opstuwen. Maar gij voelt van den stroom in de ader aan uw vinger niets. Geheel anders daarentegen als gij den vinger legt op een slagader, b.v. als gij u zelf of een ander den pols voelt. Dan voelt ge duidelijk regelmatige stooten tegen uw vinger, die vrij schielijk op elkaar volgen; er beweegt zich daar iets in die slagader. Dat iets wat gij voelt bewegen, is niet de bloed*stroom*, want die is in de ader, als zij niet geheel dicht gedrukt wordt, ook aanwezig en toch voelt gij daar niets. De stooten, die wij aan de slagaderen voelen, worden veroorzaakt door de *bloedgolf*. Hoe die bloedgolf ontstaat, is gemakkelijk te begrijpen. Elke hartslag perst een hoeveelheid bloed in de aorta. Dat bijgeperste bloed zal zich in het eerst bevinden aan den oorsprong van de aorta, en daar zal dus de slagader door die bijgeperste hoeveelheid bloed verwijd worden. Maar dat verwijde begin der aorta zal onmiddellijk daarna door de elasticiteit van den uitgezetten wand zich samentrekken. Terug kan het bloed niet; de halfmaansgewijze klep sluit de terugstrooming in het hart af. In het volgend oogenblik zal dus het bijgeperste bloed iets voortgegaan zijn en het naast aanliggende gedeelte der slagader is verwijd. Ook dat trekt zich onmiddellijk daarna weer samen en de verwijding zal dus een oogenblikje later zich weer iets verder bevinden. Zoo verbreidt zich de uitzetting, door het bijgeperste bloed veroorzaakt, met groote snelheid over het geheele slagaderlijke stelsel; er loopt als het ware een bloedgolf door de slagader heen. In de kleinere slagaderen wordt die golf langzamerhand zwakker en eindelijk onmerkbaar. Doch in de grootere kan men de voortsnellende bloedgolf zeer duidelijk aan den opgelegden vinger voelen.

Elke hartslag veroorzaakt dus een bloedgolf, en de opeenvolging der bloedgolven is geheel dezelfde als die der hartslagen. Wel is waar zal op een van het hart verwijderde plaats de bloedgolf iets later arriveeren dan de hartslag, waardoor zij ontstaan is, plaats heeft, omdat er voor de voortplanting van de golf een zekere, al is het dan ook een zeer kleine tijd noodig is. Doch dat vermindert klaarblijkelijk de waarde van de bloedgolf niet voor het leeren kennen van de snelheid van opeenvolging en andere eigenschappen der hartslagen.

Er zijn nu verschillende plaatsen in ons lichaam, waar wij de bloedgolf gemakkelijk kunnen voelen. Overal waar dat het geval is,

spreken wij van pols. Dat we slechts aan een beperkt getal slagaderen en niet aan alle een pols kunnen voelen, komt daar van daan dat niet overal de vereischten daarvoor aanwezig zijn. Vooreerst toch moet de slagader niet al te klein zijn, omdat in de kleinere vaten de bloedgolf allengs onmerkbaar wordt. Ten anderen moet de slagader dicht onder de huid loopen, omdat de zwakke stooten door een dikke laag spieren heen niet voelbaar zouden zijn. En eindelijk moet de slagader over een harde onderlaag loopen, b.v. over een been, omdat ze anders lichtelijk onder den drukkenden vinger zou uitwijken. Er zijn maar weinig plaatsen in het lichaam, waar al die vereischten behoorlijk vereenigd zijn. De meest bekende daarvan is de buigzijde van den handwortel, welke geheele streek dan ook gewoonlijk de pols heet, en waar de bloedgolf in de vrij aanzienlijke spaakbeenslagader voelbaar is. Verder kan men nog een pols waarnemen aan den benedenrand van den onderkaak even vóór den hoek; aan de slaap vóór en boven de uitwendige gehooropening, op den rug van den voet, enz.

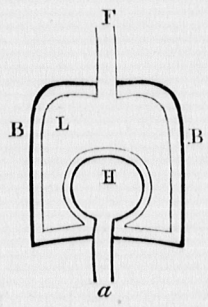
De bloedstroom in de slagaderen hangt, zooals wij gezien hebben, eensdeels af van de hartwerking, andersdeels van de elasticiteit van den slagaderwand. Daar deze beide werkingen met groote kracht plaats hebben en de slagaderen zeer dikwandige buizen zijn, zullen uitwendige invloeden den slagaderlijken stroom niet belangrijk wijzigen, althans wanneer ze niet zeer krachtig werken. Zoo moet b.v. een drukking van buiten al tamelijk sterk zijn om de slagader dicht te drukken en daardoor den bloedstroom te stuiten.

Anders is dit bij den aderlijken stroom. De aderen zijn buizen met dunne slappe wanden, waarin het bloed onder geringe drukking staat en niet zeer krachtig wordt voortgestuwd. Vandaar dat de bloedstroom in de aderen in veel hoogere mate afhankelijk is van uitwendige invloeden, d. w. z. uitwendig, voor zoover zij buiten het vaatstelsel liggen.

Vooreerst hebben de ademhalingsbewegingen grooten invloed op den aderlijken bloedstroom. Een blik op het schema in fig. 16 zal dit verduidelijken. De borstkas (B) is een ruimte, waarvan de zijwanden en de benedenwand bewegelijk zijn, en die dus door die

bewegingen vergroot of verkleind kan worden; in die borstkas nu treedt van boven de luchtpijp (F) in, waaraan de longen (L) zijn bevestigd.

Fig. 16.



Tusschen de longen en den wand van de borstkas is geen lucht en kan ook geen lucht toetreden, want de borstkas is van rondom gesloten. Wanneer dus de borstkas vergroot wordt, zullen de longen als een uitzetbare in de borstholte vrij opgehangen zak de bewegingen van den borstwand moeten volgen en zich insgelijks uitzetten. Daarbij stroomt er door de luchtpijp (F) lucht toe. Bij de vergrooting van de borstkas wordt dus lucht in de longen ingezogen. Maar nu ligt behalve de longen ook het hart (H) in de borstholte. Daarin monden ook buizen uit, die van buiten de borstholte komen, b.v. de beide holle aderen, waarvan er in onze figuur duidelijkheidshalve slechts één geteekend is, de benedenste holle ader (*a*). Zij komt uit de buikholte, doorboort het middenrif, den benedenwand der borstkas, en begeeft zich naar het hart. Evenals nu de longen door middel van de luchtpijp met de lucht buiten de borstholte, de buitenlucht, in verband staan, zoo staat het hart door middel van de holle ader met het bloed buiten de borstholte in verband. Ook de hartwand, vooral de slappe meegevende wand der voorkamer, zal de bewegingen der borstkas tot op zekere hoogte moeten volgen, en zich uitzetten, als de borstkas zich uitzet. Daardoor zal de drukking in de voorkamer afnemen, en er zal bloed naar het hart toe worden opgezogen.

De borstkas is dus een ruimte van veranderlijk volume, waarin zich twee uitzetbare zakken bevinden; de eene, de longen, met lucht gevuld, de andere, het hart, met bloed gevuld. Beide zakken monden door buizen (luchtpijp en holle ader) buiten de borstholte uit. Vergrooting van de borstkas, dat is inademing, zal dus lucht in de longen en bloed in het hart opzuigen. Omgekeerd zal verkleining van de borstkas, dat is uitademing, lucht uit de longen en bloed uit het hart uitpersen.

De inademing bevordert dus den aderlijken bloedstroom naar het hart toe. Vandaar dat voor personen, bij wie die bloedstroom traag is, bij wie zich het aderlijk bloed vooral in de buikingewanden ophoopt, krachtige inademingen zoo dienstig zijn. Vandaar dat hun

geraden wordt flinke lichaamsbewegingen te maken, waarbij zij van zelf gedwongen worden, krachtig in te ademen. Dat verklaart ook mede den slechten invloed van gestoorde, onvoldoende ademhaling, zooals die b. v. bij verkeerd zitten, bij sterk rijgen en dergelijke plaats heeft, op den bloedstroom in de buikholte.

Volgens het bovenstaande zou dus uitademing het omgekeerde gevolg moeten hebben, zij zou bloed uit het hart moeten uitpersen, en dus den aderlijken bloedstroom belemmeren. Bij de gewone uitademing komt het echter niet tot een merkbare belemmering. Wel daarentegen, wanneer de lucht niet voldoende kan wegvloeien, en er dus ophooping van lucht in de borstholte ontstaat. Wanneer dat het geval is, zal de spanning in de borstholte sterk toenemen, en daarmede natuurlijk ook de op het hart uitgeoefende drukking. En dan komt het wel degelijk tot een belemmering van den aderlijken bloedstroom. Ieder heeft wel eens gezien, dat iemand, die sterk moet hoesten, rood in het gezicht wordt. Hoesten is een sterke uitademing, waarbij de afvloeiing van lucht door de stemspleet min of meer belemmerd is. Daardoor verkrijgt de luchtstroom een hoogere spanning, en wordt krachtig genoeg om vreemde lichamen, slijm en dergelijke uit de luchtwegen uit te drijven. Maar de vermeerderde spanning van lucht in de borstholte, die bij zulk een hoestbeweging ontstaat, zal den toevoer van bloed tot het hart belemmeren. Immers de drukking in de borstholte neemt toe, en naar een plaats, waar verhoogde drukking heerscht, zal het bloed minder gemakkelijk afvloeien. De aderlijke bloedstroom wordt dus belemmerd, en die belemmering zal een overvulling van de weefsels met bloed bewerken, omdat het bloed niet schielijk genoeg naar het hart wordt afgevoerd. Vandaar o. a. de roode kleur bij hoesten.

Evenzoo wordt ook het gezicht rood bij andere krachtige uitademings-bewegingen. Bij het persen wordt de stemspleet geheel gesloten en dus de afvloeing van lucht volslagen belemmerd. Daar komt het dus tot een zeer sterke vermeerdering van drukking in de borstholte, tot een sterke belemmering van den aderlijken stroom, tot een hoog roode gelaatskleur. En zelfs al is de uitademing niet volkomen belemmerd, maar de stemspleet slechts min of meer vernauwd, zooals b. v. bij het schreeuwen, waarbij juist door die vernauwde stemspleet de geluiden moeten ontstaan, dan komt het toch allicht tot

een overvulling van de aderlijke bloedvaten, zooals de spreekwijze aanduidt: hij schreeuwt dat hij zwart wordt.

De invloed van de zwaarte op den bloedstroom is doorgaans bij gezonde menschen niet zeer in het oog vallend. Waar ze plaats heeft, zal zij zich ook meer uiten op de aderen, dan op de slagaderen. Van daar dat bij langdurig staan, vooral stilstaan, zooals bij het letterzetten en dergelijke bedrijven te pas komt, de aderen der beenen dikwijls onderhevig zijn aan uitzettingen, omdat het bloed in die vaten minder gemakkelijk omhoog kan stroomen en zich dus door de zwaarte daarin meer of min ophoopt.

Bij zwakke personen daarentegen kunnen we den invloed van de zwaarte op den bloedstroom ook soms aan den slagaderlijken stroom waarnemen. Iemand, die herstellende is van een zware ziekte, en nog zeer zwak is, zal zich dikwijls vrij wel gevoelen in liggende positie, maar zoodra hij gaat opzitten of opstaan, wordt hij duizelig en kan zelfs flauw vallen. Hier is de nog zwakke werking van het hart voldoende, om de hersenen behoorlijk met bloed te voorzien, zoolang het lichaam horizontaal ligt. Maar wanneer het bovenlijf wordt opgericht, dan komt het hoofd hooger te staan, en het zwak werkende hart is dan niet in staat het bloed tegen de richting van de zwaartekracht in krachtig genoeg omhoog te voeren, om de hersenen behoorlijk met bloed te voorzien.

Fig. 17.



Een ader in de lengte geopend om de kleppen te doen zien. Het pijltje duidt de richting van den normalen bloedstroom aan.

Ook door uitwendig aangebrachte drukking wordt de aderlijke bloedstroom gemakkelijk gestoord. Bij een aderlating wordt de laatband stevig om den bovenarm gebonden en daardoor de dicht onder de huid verloopende aderen samengedrukt. De slagaderen, die het bloed naar den arm toevoeren, loopen dieper en worden dus door het toesnoeren van den band weinig of niet gestoord. Door de sluiting van al de oppervlakkig loopende aderen wordt dus de afvoer van bloed uit dien arm zeer belemmerd, en het gevolg zal zijn, dat het bloed zich daarin ophoopt, zooals dan ook aan het sterk opzwellen der aderen merkbaar is. Zonder die voorzorg zou uit de in de aderen gemaakte wonde geen voldoende hoeveelheid bloed uitvloeien.

De weinige kracht van den aderlijken bloedstroom maakt hem zeer onderhevig aan uitwendige storingen. Doch de invloed van die storingen kan nooit een zoo hoogen graad bereiken, dat er een volledige omkeering van den bloedstroom ontstaat, dat namelijk het bloed in de aderen, in plaats van naar het hart toe, van het hart af vloeit. Hiertoe werken mede de kleppen, die zeer talrijk in de aderen voorkomen. Het zijn zakvormige plooien in den wand, die zoo geplaatst zijn, dat zij het bloed doorlaten in de richting naar het hart toe, maar zich met bloed vullen en daardoor de ader afsluiten, wanneer de stroom een omgekeerde richting aanneemt. Fig. 17 verduidelijkt de inrichting dier organen.

HET ZENUWSTELSEL EN DE BLOEDSTROOM.

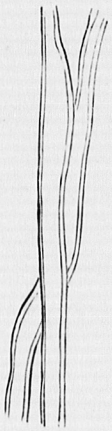
Tot nog toe is met geen woord gerept van den invloed der zenuwen op den bloedsomloop. Werkelijk laten zich ook de hoofdbeginselen van de leer der circulatie uiteenzetten, zonder dat men daarbij zenuwwerking in het spel behoeft te doen komen. Doch in het levend lichaam speelt het zenuwstelsel wel degelijk een groote rol bij den bloedsomloop. Gemoedsaandoeningen bezorgen ons hartkloppingen, wij worden bleek van schrik of rood van toorn. Al dergelijke verschijnselen, om van een tal van anderen niet te spreken, bewijzen ons dat het zenuwstelsel niet zonder invloed is op de beweging van het bloed.

Een enkele inleidende opmerking over zenuwwerking in het algemeen zal hier misschien niet ondienstig zijn.

In het zenuwstelsel onderscheiden wij twee soorten van elementen, zenuwvezels en zenuwcellen. De zenuwvezels zijn draden met een of meer hulsels omgeven, die in hetgeen wij een zenuwstam noemen, tot parallel loopende bundels vereenigd zijn. De zenuwcellen zijn zeer verschillend van vorm, [1] maar staan altijd direct of indirect met zenuwvezels in verband. De verrichting van zenuwvezels nu is geleiding, d. w. z. een stoffelijke verandering die ergens in een zenuw-

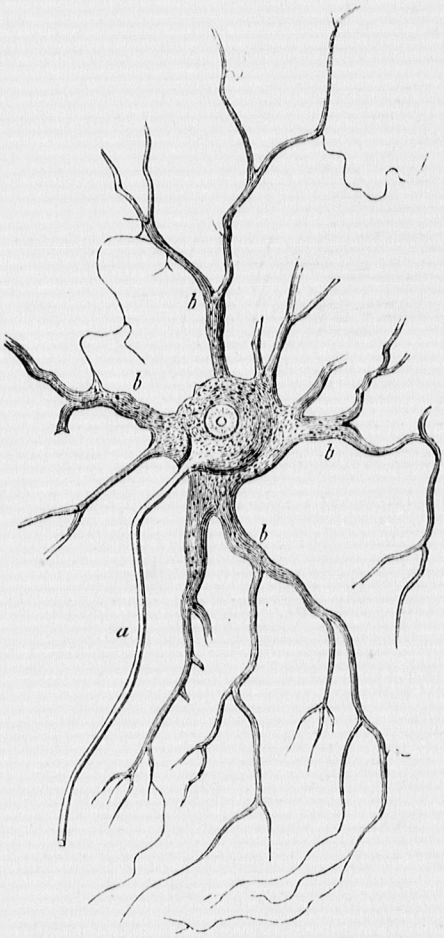
[1] Fig. 19 en 20 toonen een paar van de sterk vertakte zenuwcellen, die het ruggemerg bevat; fig. 21 doet meer eenvoudige vormen zien. De hier voorgestelden zijn uit het netvlies.

Fig. 18.



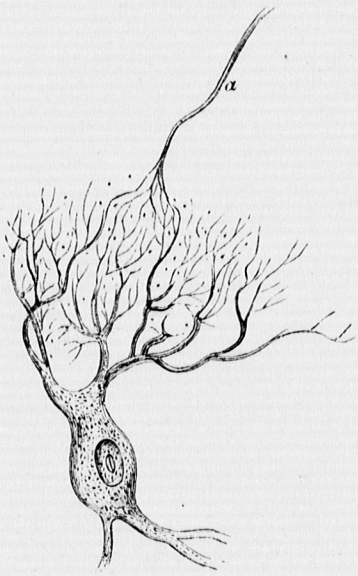
Een paar zenuwvezels, zooals zij zich in verschen toestand onder het mikroskoop voordoen. Alleen de buitenste scheede komt dan duidelijk uit.

Fig. 19.



Een zenuwcel uit het ruggemerg. De met de cel in verband staande zenuwvezel *a* ontspringt direct uit het lichaam van de cel. De uitloopers *b b* vertakken zich tot een fijn netwerk dat hier niet geteekend is.

Fig. 20.

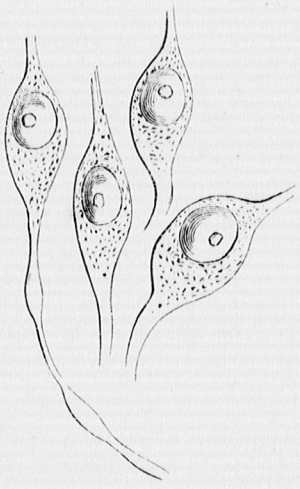


Een andere zenuwcel uit het ruggemerg. De zenuwvezel *a* ontspringt niet direct uit de cel zelf, maar uit het netwerk, dat door de vertakking der celuitloopers gevormd wordt.

vezel ontstaat, plant zich langs die vezel verder voort, ongeveer zooals een galvanische stroom zich langs een telegraafdraad, of zooals het vuur zich langs een lont voortplant. Zulk een stoffelijke verandering, die zich langs een zenuwvezel voortplant, heet een prikkel.

Elke zenuwvezel hangt aan haar eene einde, het zoogenaamde centrale eind, met een zenuwcel samen; het andere einde, het peripherische eind, hangt samen met een spiercel, een kliercel, een zintuigcel, enz. Nu kan de voortgeleiding van den prikkel in twee richtingen plaats hebben. Of de prikkel kan uitgaan van de zenuwcel en dan zich voortplanten naar het andere einde van de zenuw. Dan spreekt men van een centrifugale geleiding, omdat hier de door de zenuw voortgeleide prikkel van het centrale eind uitgaat. Dit is b. v. het geval bij de zenuwen, die in spieren beweging of in klieren afscheiding bewerken. Er zal dan in de zenuwcel een stoffelijke verandering ontstaan, die door de zenuw voortgeleid in de spier aankomt en daar een samentrekking van het spierweefsel bewerkt.

Fig. 21.



Zenuwcellen uit het netvlies.

Of in het andere geval kan de prikkel uitgaan van het peripherische eind van een zenuw en in dat geval heeft de geleiding plaats naar het centrale eind toe, centripetaal. Dit geschiedt b. v. wanneer door prikkeling van een zintuigszenuw een gewaarwording wordt opgewekt.

Beide verschijnselen, centripetale en centrifugale geleiding, kunnen met elkander in oorzakelijk verband staan, n. l. bij den zoogenaamden reflex. Een bekend voorbeeld van reflex is het hoesten, als er iets in de verkeerde keel komt. Het vreemde lichaam prikkelt de gevoelszenuwen van het slijmvlies van het strottenhoofd, deze prikkel wordt voortgeleid naar een zenuwcel of groep van zenuwcellen, dus centripetaal. Maar in die zenuwcellen gearriveerd, verbreidt zij zich verder op andere daarmede samenhangende zenuwen, die naar de uitademingsspieren gaan. Op de centripetale geleiding volgt dus on-

middellijk een centrifugale, die in dit geval een spierbeweging (hier hoesten) doet ontstaan. En dat wel zonder dat wil of bewustheid hierbij in het spel komt.

Wanneer nu een zeker verschijnsel in het dierlijk lichaam ontstaat ten gevolge van zenuwwerking, dan heeten de zenuwcellen, waarvan de prikkel uitgaat of waarin de prikkel aankomt, het centrum voor dat verschijnsel. Zoo b. v. wanneer van een zekere groep zenuwcellen is aangetoond, dat zij de oorsprongspunten zijn voor de bewegingszenuwen, die naar een spier gaan, en dat de prikkel, die de samentrekking van die spier bewerkt, altijd van die zenuwcellen moet uitgaan, dan heeten die cellen het centrum voor die bepaalde beweging.

Of een ander voorbeeld: het straks vermelde hoesten kan niet plaats hebben, wanneer niet de zenuwcellen, die eensdeels met de gevoelszenuwen van het strotslijmvlies, anderdeels met de uitademingsspieren in verband staan, aanwezig zijn. Die cellen zijn dus de plaats van waar uit de hoestbeweging wordt beheerscht. Zij heeten het centrum voor die beweging.

Het essentieele bestanddeel van een zenuwcentrum zijn dus zenuwcellen. Van die cellen gaan zenuwvezels uit, die zich in een of ander orgaan, een bewegingsorgaan, een afscheidingsorgaan, een zintuigsorgaan enz. verbreiden. Verreweg de meeste van die zenuwcentra liggen in de hersenen of het ruggemerg, het zoogenaamde centraal-zenuwstelsel. Vandaar dat uitgebreide stoornissen in dat centraal-zenuwstelsel, en nog zekerder algeheele verwoesting daarvan, onvermijdelijk den dood ten gevolge heeft. Want door de verwoesting van hersenen en ruggemerg worden een groot aantal zenuwcentra, van waar uit zeer gewichtige levensverrichtingen beheerscht worden, buiten werkzaamheid gesteld, zoodat die verrichtingen dan niet meer normaal kunnen plaats hebben.

Deze voorloopige uiteenzetting scheen mij noodzakelijk toe om den invloed van het zenuwstelsel op den bloedsomloop behoorlijk te kunnen uiteenzetten. Laat ons nu zien wat er van dien invloed is.

Dat de hartbeweging geen willekeurige beweging is, niet door bewuste wilsinvloeden veroorzaakt wordt, leert ons de eerste de beste

waarneming op een slapende of een bewusteloze. Al is ook in den diepsten slaap of in de meest volledige bedwelming elke willekeurige beweging een volstrekte onmogelijkheid, het voelen van den pols of van den hartstoot leert ons dat het hart zijne bewegingen, misschien eenigszins verzwakt, maar toch onafgebroken voortzet. Door geenerlei ook nog zoo sterke wilsinspanning kunnen wij direct onze hartslagen wijzigen; de meest ijzeren wil blijft in dit opzicht krachteloos.

Die betrekkelijke onafhankelijkheid van het hart komt zeer goed uit in de volgende proef. We nemen een kikker, ontnemen hem door een enkele snelle snede de hersenen, zoodat van bewustzijn, gevoel en wil bij het dier voortaan geen sprake meer kan zijn. Nu maken we een opening in den borstwand, waardoor het hart bloot komt. Wij zien het regelmatig voortkloppen en hebben daarin eigenlijk hetzelfde verschijnsel, hetgeen wij bij den bewusteloozen mensch kunnen waarnemen. Bij dezen zijn de hersenen tijdelijk onwerkzaam, bij onzen kikker daarentegen zijn zij voor goed buiten functie gesteld, omdat zij geheel weggenomen zijn.

Wanneer we nu bij onzen kikker, door middel van een naald die wij in het ruggemergskanaal stooten, het ruggemerg verwoesten, dan heeft dat op de bewegingen van het hart evenmin terstond invloed. De slagen volgen elkander met dezelfde regelmatigheid op. Dat feit leert dus, dat de bewegingen van het hart niet bewerkt worden door centra, die in hersenen of ruggemerg gelegen zijn.

Doch we gaan nu nog verder; wij vergrooten de opening in den borstwand zooveel, dat we het geheele hart er uit kunnen nemen en van het overige lichaam scheiden. Daar ligt het nu in een horlogeglas en — wonderbaar schouwspel, het kleine orgaantje doet schijnbaar of er niets gebeurd is; zonder dat het in samenhang staat met het bloedvaatstelsel of eenig ander deel van het lichaam, zet het zijn samentrekkingen met groote regelmatigheid voort. En wanneer we het beschutten voor verdroging, dan kunnen we uren lang die merkwaardige beweging zien voortgaan.

Volgt daaruit nu, dat het hart geheel onafhankelijk is van het zenuwstelsel? Die gevolgtrekking zou wat overijld zijn. Wat toch is bij onze proef gebeurd? Eerst hebben we de hersenen verwijderd; de hartbeweging hield niet op. Het centrum voor hartbeweging (zoo

het bestaat) ligt dus niet in de hersenen, anders zou met de hersenen ook dat centrum verwijderd zijn, en het hart zou moeten stilstaan. Daarop verwoestten we het ruggemerg; ook nu nog geen hartstilstand. Dus het centrum voor de hartbeweging ligt ook niet in het ruggemerg. Eindelijk hebben we het hart geheel uit het lichaam genomen. Nog geen hartstilstand, dus het centrum voor de hartbeweging ligt ook niet in het geheele overige lichaam. Ligt het daarom nergens, d. i. bestaat het niet? — Dat is daarmee nog niet bewezen. Wij hebben het hart wel gescheiden van het geheele overige lichaam, maar daarmee nog niet van het hart zelf, d. w. z. de eenige mogelijkheid die nog overblijft is deze, het centrum voor de hartbeweging ligt in het hart zelf.

Als dat waar is, dan moeten we in het hart centrale organen, d. i. zenuwcellen, kunnen vinden. En die zijn dan ook werkelijk gevonden. Op vele plaatsen van het hart zijn door het microscopisch onderzoek rijkelijke ophoopingen van zenuwcellen aangetoond. Zij zijn van den meer eenvoudigen vorm, zooals zij in fig. 18 zijn afgebeeld. Of nu een zenuwcel in de hersenen of in het ruggemerg, of daarbuiten ligt, dat maakt voor hare verrichting als centrum geen principieel onderscheid; daarom kan er evengoed in zulk een zenuwcel een prikkel ontstaan, die door een zenuwvezel voortgeleid en naar een spier of ander orgaan overgebracht wordt.

En dat nu werkelijk die in het hart aanwezige zenuwcellen als centra voor de hartbeweging optreden, wordt daardoor zoo goed als zeker, dat het kikkerhart in een aantal stukken verdeeld kan worden, waarbij men aan elk van die afzonderlijke stukken bewegingen kan waarnemen. En zoodra dat het geval is, blijken zij bij microscopisch onderzoek ook zenuwcellen te bevatten. Slechts één van die stukken vertoont nooit bewegingen, zoodra het van het overige hart is afgeknipt. Dat is het onderste gedeelte van de kamer, het dichtst bij de punt gelegen. En juist dat gedeelte, dat op zichzelf staande geen samentrekkingen vertoont, bevat ook geen zenuwcellen.

Waarom moet nu voor deze proef een kikkerhart gebruikt worden, en waarom gelukt ze niet even goed met een zoogdierhart?

Wanneer het hart van een zoogdier uit het lichaam genomen wordt, dan zal het misschien nog enkele slagen volvoeren, maar toch, ook al wordt het nog zoo zorgvuldig voor uitdroging en afkoeling

beschut, na een paar seconden onherroepelijk stilstaan. Gelden dus voor het zoogdierhart andere wetten? Is het in tegenstelling met het kikkerhart afhankelijk van het centraal zenuwstelsel, zoodat het daarvan gescheiden zijne bewegingen staakt? — Dat juist niet. De oorzaak van het verschil ligt elders, zij ligt daarin dat, gelijk men het in het dagelijksch leven noemt, de kikker "taaier van leven" is.

Welken wetenschappelijken zin hebben we te hechten aan dat zeer onbestemde begrip taaiheid?

De weefsels van den kikker en evenzoo van een aantal andere dieren hebben tragere stofwisseling dan die der hoogere gewervelden; zij kunnen met den beschikbaren voorraad stof, dien zij in zichzelven hebben, dus langer rondkomen. Zij zijn dus minder afhankelijk van voortdurenden bloedtoevoer en zuurstoftoevoer. Ook wanneer die toevoer een tijd lang gestaakt wordt, verliezen ze nog niet onmiddelijk hun levenseigenschappen. Daarom kan het kikkerhart, ook als het van het lichaam gescheiden is, blijven doorkloppen; daarom behoudt ook de van het lichaam gescheiden kikkerspier en zenuw gedurende langen tijd haar prikkelbaarheid. Zoodra echter het zoogdierhart uit het lichaam genomen is, houdt daarmee de toevoer van zuurstof aan het spier- en zenuwweefsel van dat hart op, omdat het niet meer in gemeenschap is met de longen. Zoodra dat nu het geval is, verliezen die weefsels binnen weinige oogenblikken hunne levenseigenschappen, en het hart staat stil. Het begrip "taaiheid van leven" komt dus hier op neer, dat bij vele dieren de verschillende organen in een minder innig verband met elkaar staan, minder van elkaar afhankelijk zijn. Bij zulke dieren geschiedt de stofwisseling met minder energie, zij hebben als het ware levensmachines die er op ingericht zijn om met halve kracht te werken. Vandaar dat een tijdelijke schorsing van ademhaling en bloedsomloop voor hen nog niet onmiddellijk den dood der weefsels na zich sleept.

Bij de hoogere klassen der gewervelden daarentegen, werkt de levensmachine *full speed;* daar kan toevoer van zuurstof, ademhaling en bloedsomloop geen oogenblik stilstaan, zonder sterk ingrijpende stoornissen in de verrichtingen der weefsels.

Om dus voor het zoogdierhart de onafhankelijkheid van het centraal zenuwsysteem na te gaan, mogen we niet op zulk een betrekkelijk ruwe wijze te werk gaan als bij het kikkerhart. De proef moet

hier met grootere voorzorgen gebeuren, opdat de weefsels van het hart geen gebrek krijgen aan de voor hen zoo noodzakelijke zuurstof. Een beschrijving van zulk een proef zou ons hier te ver voeren; genoeg zij 't hier op te merken, dat men ook bij het zoogdierhart kan aantoonen dat het centrum voor de hartbeweging niet ligt in hersenen of ruggemerg, maar in het hart zelf.

Toch zou het verkeerd zijn uit dit alles het besluit te trekken, dat 't hart met het centraal zenuwsysteem in geen de minste betrekking stond. Zeer gemakkelijk laat zich het tegendeel aantoonen.

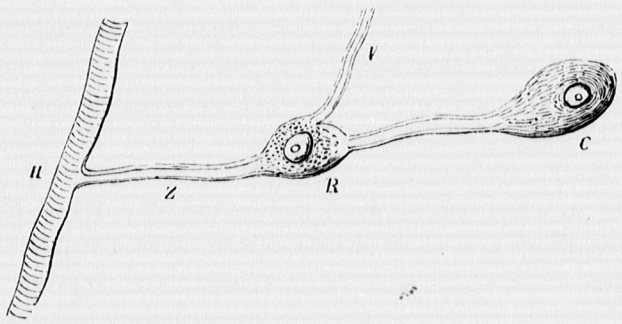
Langs den hals loopt, aan weerszijden van de luchtpijp, een aanzienlijke zenuwstam, de zwervende zenuw (*nervus vagus*) genoemd. Die zenuw laat zich bij een dier gemakkelijk bloot leggen. Men kan dan aantoonen dat de toestand van die zenuw op de frequentie der hartbeweging een grooten invloed heeft. Wanneer namelijk die zenuw wordt doorgesneden, begint het hart sneller te kloppen en wordt dan het naar het hart toegekeerde einde geprikkeld (b. v. door een galvanischen stroom), dan maakt die versnelling onmiddellijk plaats voor vertraging, en die vertraging kan zoo sterk worden, dat het hart geheel stilstaat.

Schijnbaar is dat verschijnsel in lijnrechte tegenspraak met al onze andere ervaringen omtrent den invloed van zenuwen op spieren. Wanneer een bij een spier behoorende zenuw wordt doorgesneden en de spier daardoor buiten verband gebracht is met het centrale orgaan in de hersenen, dan is die spier verlamd, hare willekeurige en onwillekeurige samentrekkingen hebben opgehouden. Wanneer echter zulk een doorgesneden zenuw kunstmatig geprikkeld wordt, dan kan dit nog weer spier-samentrekkingen bewerken. Het hart nu is een spier en van de zwervende zenuw laat het zich aantoonen, dat zij hare vertakkingen in het hart verbreidt. En hier vindt men nu juist het omgekeerde van hetgeen gewoonlijk voor den invloed van zenuwen op spieren geldt. Doorsnijding van den vagus verlamt het hart niet, maar doet het juist sneller kloppen. En prikkeling van den vagus wakkert de hartbewegingen niet aan, maar doet ze trager worden en eindelijk geheel stilstaan. Klaarblijkelijk speelt dus de vagus een geheel andere rol met betrekking tot het hart, dan een gewone bewegings-zenuw met betrekking tot een spier. Men drukt

dien invloed van den vagus uit door hem te noemen, de **remzenuw** voor het hart.

Fig. 22 moge strekken om van die werking eenigermate een denkbeeld te geven. Laat H voorstellen een spiervezel van het hart. Die spiervezel trekt zich niet van zelf samen, maar onder den invloed van een zenuw Z, die ontspringt uit de zenuwcel C. Die cel C stelt voor een van de zenuwcellen die in het hart zelf gelegen zijn en waarvan de prikkel tot beweging uitgaat. Men denke zich nu dat in die cel C voortdurend stoffelijke veranderingen ontstaan, die als prikkel door de zenuw in de richting naar de spier worden voortgeleid. De zenuw Z begeeft zich echter niet onmiddellijk naar de spier, maar moet daartoe eerst de cel R passeeren. Die cel

Fig. 22.



Schema tot verklaring van de werking van den vagus op het hart.

R biedt een zekeren weerstand aan de voortgeleiding van den prikkel; de prikkel stuit als het ware min of meer in R. De in C ontstaande prikkels zullen dus niet onophoudelijk zich naar de spier voortplanten, maar zij zullen zich in R ophoopen, totdat ze sterk genoeg geworden zijn, om den weerstand in die cel te overwinnen.

Om het met een grof beeld voor te stellen: laat C een reservoir zijn, waaruit onophoudelijk kleine hoeveelheden water door Z wegvloeien, om in H arbeid te verrichten. Dat water stuit bij R tegen een klep, die zich eerst door een zekere drukking opent. Voor die klep zal dus het water zich ophoopen en eindelijk zulk een drukking verkrijgen, dat het de klep forceert. Dan zal het er doordringen en in H kunnen arriveeren. Maar onmiddellijk na de doorstrooming heeft

zich de klep R weer gesloten, en nu zal er dus weer een zekere tijd moeten verloopen, voordat het van C afvloeiende water weer zulk een drukking heeft verkregen, dat het de klep kan openen. De arbeid van het water in H zal dus met tusschenpoozen, in een zekeren rhythmus, plaats hebben. Hoe geringer de weerstand in R is, des te korter zullen die tusschenpoozen zijn, des te sneller de rhythmus. Is daarentegen de weerstand in R groot, dan zal het lang duren voordat het uit C onophoudelijk afvloeiende water dien weerstand overwint en zich een baan breekt, de rhythmus zal dan langzamer zijn.

Ongeveer op die wijze kunnen we ons voorstellen hoe de prikkels die in de zenuwcellen van het hart ontstaan, het hart slechts bij tusschenpoozen tot samentrekking brengen. En de werking van den vagus wordt nu ook begrijpelijk, als we ons voorstellen dat die zenuw (V in de figuur) in verband staat met de cel R, en dat prikkeling van die zenuw den weerstand in R doet toenemen. Hoe meer dus de vagus geprikkeld wordt, des te langer zal het duren voordat de van C uitgaande prikkel naar H kan komen en des te langzamer zal dus het hart kloppen.

Het is misschien niet overbodig op te merken, dat de hier gegevene voorstelling niet bloot phantasie is, maar een hypothese die op goede gronden rust; een voldoende uiteenzetting van die gronden kan hier echter moeielijk gegeven worden, daar dit al te wijdloopige verklaringen zou vereischen.

Met dit alles is echter nog volstrekt niet verklaard, waarom bij een dier, na doorsnijding van de zwervende zenuw aan den hals, het hart sneller gaat kloppen. Dit feit berust op de volgende oorzaak.

Wanneer we den vagus naar boven toe vervolgen, dan vinden we zijn centrale eind in het zoogenaamde verlengde merg aan de ondervlakte der hersenen. Daar staat de vagus met zenuwcellen in verband; daar bevindt zich het zoogenaamde vaguscentrum. Van dat centrum gaan voortdurend prikkels uit, die, in het hart aankomende, daar op de boven aangeduide wijze werken en de hartbeweging langzamer maken, dan zij anders zou zijn. Het vaguscentrum werkt dus voortdurend op het hart; het houdt als het ware den teugel strak gespannen; het houdt den rem aangezet. Zoodra nu de vagus

wordt doorgesneden, dan valt die invloed weg, want de prikkels uit het verlengde merg kunnen dan niet meer in het hart komen. Het hart is dan bevrijd van den teugel, de rem springt los en de rhythmus der hartbewegingen wordt sneller.

De frequentie der hartbewegingen, d. i. de snelheid waarmede de afzonderlijke hartslagen op elkaar volgen, is dus het resultaat, eensdeels van de werking der in het hart gelegen centra, anderdeels van de werking van het vaguscentrum. [1]

Het laat zich dus begrijpen dat al naar de verschillende intensiteit der beide werkingen die frequentie zeer veranderlijk kan zijn. En dat kunnen we dan ook gemakkelijk in allerlei omstandigheden waarnemen. We zullen eenige der belangrijkste variaties der hartbewegingen kortelijk nagaan, zonder dat wij daarbij echter altijd de rol kunnen opgeven, die het hartcentrum en vaguscentrum elk op zichzelf daarbij spelen.

Gemiddeld is de frequentie der hartbeweging bij een volwassen mensch 72 per minuut; 72 polsslagen kunnen we in dien tijd tellen. Bij kleinere dieren echter (ons daarbij tot de zoogdieren beperkende) is die frequentie doorgaans veel grooter; zoo b. v. klopt het hart bij het konijn 180 maal en meer per minuut. Grootere dieren hebben meestal een langzamer hartslag, het paard b. v. ongeveer 50 per minuut.

Op jeugdigen leeftijd klopt het hart veel sneller. Het pasgeboren kind heeft een polsslag van 130 en meer. Langzamerhand daalt die frequentie, zoodat ze bij een kind van een jaar nog omstreeks 100 bedraagt. En zoo gaat het steeds afnemend, totdat omstreeks het 25e levensjaar het gemiddelde getal bereikt is. Het verband tusschen die grootere polsfrequentie en de snellere stofwisseling op jeugdigen leeftijd is niet ver te zoeken.

Van zeer grooten invloed op de hartfrequentie is de temperatuur van het lichaam. Wanneer door overmatige verwarming van buiten of door inwendige stoornissen de temperatuur van het bloed hooger

[1] Behalve de zenuwvezels van den vagus schijnen er nog andere zenuwen te zijn, die ook van buiten af op de hartbeweging werken, en wel zoo dat zij die versnellen, dus een tegengestelde werking uitoefenen als de vagus. Daar echter de versnellende werking dezer zenuwen in elk geval veel minder duidelijk uitkomt dan de remmende vaguswerking, zal het beter zijn daarover niet uitvoeriger te spreken, om de zaak niet al te gecompliceerd te maken.

wordt, dan neemt daarmee de polsfrequentie toe. Het dier welks temperatuur kunstmatig wordt verhoogd, de koortslijder bij wien de thermometer 39°, 40° en hooger wijst, ze liggen daar met een snel jagenden pols, die bij den mensch tot 120 en 130 kan klimmen. Omgekeerd zal afkoeling van het lichaam den pols vertragen. Menschen die door de koude bevangen zijn, die gevaar loopen van (zooals men het noemt) te bevriezen, hebben een zeer langzamen hartslag, die toeneemt naarmate de pogingen om hen weer bij te brengen en hunne lichaamstemperatuur te verhoogen, met goed gevolg bekroond worden.

Spierinspanning is van zeer grooten invloed op de frequentie en kracht der hartslagen. Ieder weet hoe na een snellen loop het hart kan bonzen in de borst, d. i. dat zijne bewegingen dan zooveel sterker zijn dan gewoonlijk, dat ze duidelijk voelbaar zijn. En tevens volgen dan de hartslagen veel schielijker op elkaar dan gewoonlijk. Doch niet altijd behoeft die spierinspanning bovenmatig te zijn, om zich op het hart te doen gevoelen; menschen van een prikkelbaar zenuwachtig gestel kunnen wijzigingen van hun hartslag ondervinden door op zich zelf onbeduidende bewegingen, b. v. het opklimmen van een trap of iets dergelijks. In het algemeen is het dus niet raadzaam om, ten einde over iemands bloedsomloop te oordeelen, hem den pols te voelen onmiddellijk nadat hij een meer dan gewone beweging gemaakt heeft.

Eindelijk nog bestaat er een zeer innig verband tusschen de hartbeweging eenerzijds en de toestanden en aandoeningen der hersenen anderzijds. Een plotselinge schrik of een hevige ontzetting kan ons, zooals de spreekwijs luidt: "het bloed in de aderen doen stollen." Die spreekwijs, zooals zij daar ligt, is zeker overdreven en onjuist, van eigenlijke stolling van bloed is geen sprake, maar wel van stilstand, althans tot op zekere hoogte. Een heftige schrik of elke geweldige aandoening in het algemeen kan de remmende werking van den vagus zoozeer doen toenemen, dat het tot sterke verlangzaming, of misschien zelfs voor eenige oogenblikken tot stilstand van het hart komt. Wanneer dan door het stilstaande hart aan de hersenen niet voldoende bloed wordt toegevoerd, dan staken deze tijdelijk een gedeelte van hunne werkzaamheid, d. w. z. er ontstaat bewusteloosheid, de mensch valt flauw.

En ook zonder dat het tot hartstilstand komt, openbaart zich

dikwijls het innig verband tusschen hersenwerking en hartswerking. Wie iets kwaads in den zin heeft en vreest voor ontdekking, volvoert zijn daad met een kloppend hart; blijde verwachting doet het hart sneller kloppen; drift en woede kunnen verregaande onregelmatigheid in den hartslag bewerken enz. enz. In al dergelijke gevallen komt dat verband tusschen hersenen en hart hoogstwaarschijnlijk grootendeels door de zwervende zenuw tot stand.

Het bloed moet onophoudelijk door het geheele lichaam rondloopen om in alle weefsels daarvan zijne gewichtige verrichtingen met betrekking tot aan- en afvoer van stoffen te verrichten. Die omloop komt, zooals wij gezien hebben, tot stand door de hartswerking in verband met de elasticiteit der slagaderen. Maar daarmede is, zelfs voor ons vluchtig oppervlakkig overzicht, de kennis van den bloedstroom nog op verre na niet volledig te achten.

Een altijd gelijkmatige bloedstroom door het geheele lichaam zou weinig wenschelijk zijn. Dat moge vreemd klinken, maar bij nadere overweging is het gemakkelijk de waarheid daarvan in te zien. Want daar zijn in ons lichaam een aantal organen, die niet onophoudelijk even werkzaam zijn, maar bij welke toestanden van rust en werkzaamheid afwisselen. Dat dit bij de spieren plaats heeft, valt iedereen terstond in het oog; op elke langdurige spier-samentrekking moet een tijdperk van rust volgen. Maar niet minder geldt het voor andere organen; onze hersenen werken niet altijd door, maar hebben evenzeer als onze spieren behoefte zich van tijd tot tijd door meer of minder volledige rust te ontspannen. Wanneer onze maag niet behoeft te verteren en niet met spijs gevuld is, scheidt ze geen maagsap af en beweegt zich weinig of niet. Een onophoudelijke vertering zou door de maag even weinig verdragen worden, als onophoudelijk denken door de hersenen, of onophoudelijke samentrekking door de spieren.

Bij elk orgaan wordt in den werkzamen toestand meer stof verbruikt dan in den rustenden; er wordt meer zuurstof toegevoerd, meer voedsel verbruikt, meer omzettingsproducten gevormd. Dat alles moet samengaan met een vermeerderden toevoer van bloed. Werkelijk laat het zich dan ook aantoonen dat de hersenen bij krachtige werkzaamheid bloedrijker zijn dan wanneer zij geheel of bijna geheel

rusten zooals gedurende den slaap. Eveneens is de nuchtere maag bleek en arm aan bloed, de verterende maag daarentegen bloedrijk en rood.

De hoeveelheid bloed, die een orgaan noodig heeft, is dus niet altijd dezelfde; voor vele organen wisselen tijden van bloedrijkdom af met tijden waarin zij weinig bloed bevatten. Hoe komt nu die afwisseling van bloedgehalte tot stand?

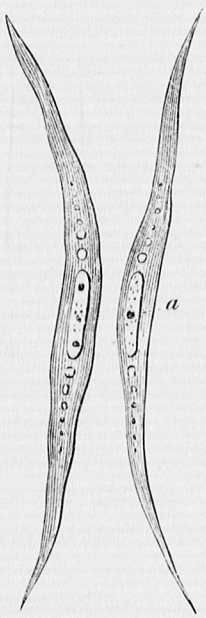
Eensdeels zou dit mogelijk zijn door afwisselend versterkte hartswerking. Wanneer b. v. de maag met spijs gevuld wordt en een grooten toevoer van bloed noodig heeft, om hare verschillende verrichtingen bij de vertering te volbrengen, dan zou men zich kunnen denken dat het hart sneller en krachtiger ging kloppen om daardoor aan de maag een grootere hoeveelheid bloed in denzelfden tijd toe te voeren. Doch een op die wijze bewerkte vermeerderde toevoer zou allicht stoornissen in andere organen bewerken. Als namelijk het hart krachtiger ging werken zou niet alleen de maag, maar zouden ook de hersenen en al de andere organen meer bloed ontvangen, zonder dat ze het juist noodig hadden. En dat zou al spoedig stoornis in de verrichtingen dier organen teweegbrengen.

Maar er is nog een ander middel om een tijdelijk versterkten bloedtoevoer naar een orgaan te bewerken, zonder dat het hart juist krachtiger behoeft te kloppen. Stellen we ons een zekere stad voor, die met een waterleiding voorzien is. Wanneer nu in een bepaalde stadswijk tijdelijk iets meer water noodig is, dan zal men daarvoor juist niet orders behoeven te zenden naar de stoommachine, die het water in de leiding perst; maar het is voldoende, de kraan in de hoofdbuis wijder open te zetten, die naar de bedoelde stadswijk leidt. Men krijgt dan door de wijdere buis daar een sterkeren toevoer zonder dat er van de pompmachine meer arbeid gevergd wordt.

Op dergelijke wijze wordt nu ook de van tijd tot tijd noodzakelijke vermeerdering van den bloedstroom naar de verschillende organen bewerkt. Niet dat er in onze toevoerende bloedvaten, in de slagaderen, kranen of daarmede overeenkomstige inrichtingen aanwezig zijn; maar hier wordt de verwijding van het toevoerend vat, die door het openzetten van een kraan slechts op één plaats geschiedt, over een veel grootere uitgestrektheid bewerkt, daar namelijk die verwijding in al de kleinere slagaderen plaats heeft. Terwijl namelijk in de grootere slagaderen de elastische vezels het hoofdbestand-

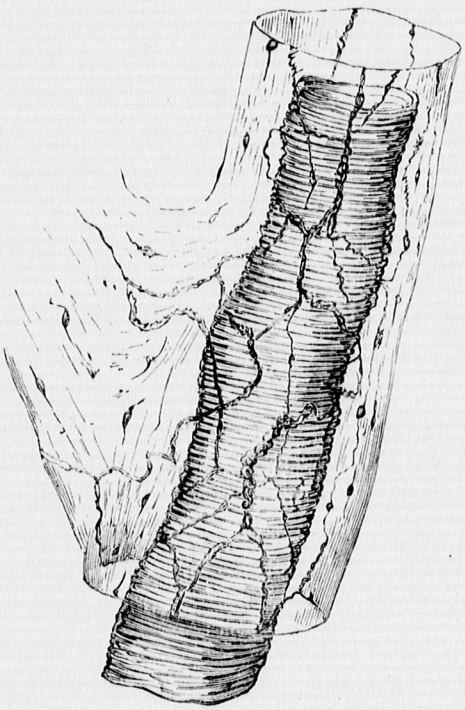
deel van den wand vormen (zie blz. 47), treedt in de kleinere slagaderen een ander bestanddeel van den wand op den voorgrond, namelijk spiervezels. Dit zijn geene vezels zooals zij voorkomen in het hart of in onze willekeurige spieren, maar een andere soort, de zoogenaamde gladde spiercellen. Het zijn (fig. 23) zeer langwerpige, aan beide einden spits toeloopende cellen, met een staafvormige kern *a*

Fig. 23.



Gladde spiercellen.

Fig. 24.



Een slagader met haar buitensten bindweefselrok en haar spierrok, waarin zenuwvezels zich verbreiden.

er in. Die cellen vormen, dicht aaneengesloten, één of meer lagen in den wand der slagader en wel zoo, dat ze er ringvormig om toeloopen, zoodat dus de langste afmeting van de spiercel in een vlak ligt dat loodrecht staat op de as van het vat. Wanneer nu die spiercellen bij hare samentrekking korter worden, dan wordt de ring, die zij om het vat vormen, nauwer en daarmede de inwendige ruimte van het vat kleiner. Hoe sterker dus die spiervezels samengetrokken

zijn, des te nauwer is het vat, hoe meer zij verslapt zijn, des te wijder.

De spiervezels der vaten nu trekken zich evenmin als andere spiervezels van zelf samen, maar alleen onder den invloed van prikkels, en die prikkels worden hun toegevoerd door zenuwen. In den wand der slagaderen loopen dan ook talrijke zenuwvezels, die in de spierlaag der vaten, de zoogenaamde spierrok, eindigen. Die zenuwen, vaatzenuwen genoemd, gaan uit van centra (d. i. groepen van zenuwcellen), die in het centraal zenuwstelsel (hersenen en ruggemerg) gelegen zijn. Zulk een centrum, van waar vaatzenuwen uitgaan naar de bloedvaten, heet een vaatcentrum. In den laatsten tijd is het zeer waarschijnlijk geworden, dat die vaatcentra niet, zooals men vroeger meende, op ééne plaats van het verlengde merg opeengehoopt zijn, maar dat ze over het geheele ruggemerg verspreid voorkomen. Zoo ligt b. v. het vaatcentrum voor het hoofd in het verlengde merg onmiddellijk nabij de hersenen; andere vaatcentra, b. v. voor de onderbuiksorganen, meer naar beneden in het ruggemerg, enz. Doch die in het ruggemerg gelegen vaatcentra, de zoogenaamde spinale vaatcentra, zijn niet de eenige; ook langs de bloedvaten, in den wand dier vaten zelf of in hare onmiddellijke nabijheid, liggen zenuwcellen, die op de wijdte der vaten kunnen influenceeren. Deze laatsten zouden dus locale vaatcentra mogen heeten.

Van die vaatcentra nu gaan voortdurend prikkels uit, die, door de vaatzenuwen voortgeleid, de spiervezels der vaten tot samentrekking brengen, en dus de vaten nauwer houden dan ze anders zouden zijn. De spierrok der vaten verkeert dus voortdurend in een gespannen toestand.

Dat laat zich duidelijk aantoonen door de volgende proef. Aan den hals, in de onmiddellijke nabijheid van de vroeger vermelde zwervende zenuw, loopt een zenuwstam, waarin de vaatzenuwen voor het hoofd bevat zijn. Men kan die zenuw gemakkelijk blootleggen. Wordt dat aan een zijde, b. v. rechts, gedaan en de zenuw doorgeknipt, dan bemerkt men zeer spoedig, dat aan die zijde van het hoofd de huid heet en rood wordt, en alle kenteekenen van vermeerderden bloedtoevoer vertoont. Want aan die zijde (in dit geval de rechter) zijn door het doorknippen der vaatzenuw de bloedvaten buiten verband met het spinale vaatcentrum gebracht, de spierrok dier vaten ontvangt van dat centrum geen prikkels meer, is dus minder sterk samengetrokken dan vroeger, en de vaten zijn dus wijder; er kan

meer bloed instroomen. Aan de linker zijde is de vaatzenuw ongeschonden gebleven, en voor de vaten aan die zijde van het hoofd bestaat er dus geen oorzaak voor verandering van wijdte.

Dit resultaat der proef, dat namelijk de bloedvaten reeds door het eenvoudig doorsnijden der vaatzenuwen wijder worden, bewijst dat in den normalen toestand de bloedvaten voortdurend door bemiddeling der vaatzenuwen uit de centra prikkels ontvangen. De wijdte der bloedvaten op een gegeven oogenblik is dus het resultaat van twee tegengestelde werkingen. Het met kracht aandringende bloed zal het vat zoo sterk mogelijk trachten op te vullen; maar daartegen verzet zich de onder den invloed der vaatcentra voortdurend samengetrokken spierrok. Eerst dan, wanneer die laatste werking minder wordt of wegvalt, kan de bloeddrukking zich in haar volle kracht doen gelden en de vaten doen opzwellen.

Wanneer we nu weer terugkeeren tot onze vraag van zooeven, hoe het komt dat de bloedvaten van een orgaan, dat tijdelijk meer bloed behoeft, verwijd worden, dan moet het antwoord daarop ongeveer aldus luiden. Als b. v. de verterende maag een grooteren toevoer van bloed noodig heeft, dan wordt de werkzaamheid der vaatcentra van dat orgaan, hetzij de spinale of de locale, tijdelijk minder. De spierrok der bloedvaten wordt dan minder sterk geprikkeld, de spiervezels trekken zich minder sterk samen, en de verslappende vaten laten aan het rijkelijk aandringende bloed vrijen toegang. Moet de toevoer van bloed dan na eenigen tijd weer minder worden, dan beginnen de vaatcentra weer krachtiger te werken, de vaten worden weer nauwer en laten minder bloed in het orgaan toe. Op die wijze komt dus vermindering en vermeerdering van het bloedgehalte der organen tot stand, zonder dat het hart telkens zijne beweging behoeft te wijzigen.

De wijziging van bloedtoevoer naar het een of ander orgaan is echter niet geheel zonder invloed op andere organen. Er is in het lichaam slechts een bepaalde hoeveelheid bloed (omtrent 5 kilo in het volwassen menschelijk lichaam). Wanneer nu een orgaan plotseling zeer veel meer bloed noodig heeft dan vroeger, dan zal er voor de andere organen minder bloed beschikbaar zijn, en deze zullen dus daardoor armer worden aan bloed. Dat geschiedt volgens zeer eenvoudige mechanische beginselen; wanneer een vloeistof onder een

zekere drukking stroomt in een buis, die zich in twee even wijde takken A en B verdeelt, dan zal, als overigens alle omstandigheden gelijk zijn, de vloeistof zich gelijkelijk tusschen A en B verdeelen. Door beide takken zal een even groote hoeveelheid vocht afvloeien. Wordt nu echter de buis A plotseling wijder, terwijl B haar vorige wijdte behoudt, dan zal de vochtstroom in A minder weerstand ondervinden, en zich dus bij voorkeur langs A bewegen. Een grooter deel van de vloeistof vloeit dus af door de wijdere buis A, en er blijft minder over voor B.

Dat verklaart ons, waarom wij na een rijkelijken maaltijd slaperig en weinig geneigd tot spierinspanning zijn. Onze spijsverteringsorganen moeten dan krachtig werken; maag en darmkanaal zijn voor den eersten tijd rijkelijk belast met arbeid, en hebben dus een aanzienlijk vermeerderden bloedstoevoer noodig. Eensdeels om te voorzien in het stofverbruik, dat door hunne bewegingen bewerkt wordt, anderdeels om de groote hoeveelheid verteringssappen, die vereischt worden, te kunnen leveren. Nu is het spijskanaal zeer rijk aan bloedvaten en de wanden van deze zijn zeer uitzetbaar, zoodat, als de bloedvaten sterk verslappen, een zeer groote hoeveelheid bloed in den wand van het spijskanaal kan stroomen. Men heeft berekend dat de bloedvaten van het darmkanaal, als zij volkomen verslappen, de geheele bloedmassa van het lichaam kunnen bergen, zoodat er voor de overige organen niets zou overblijven. Zoo ver komt het nu bij de gewone spijsvertering niet. Maar toch, wanneer het uitgebreide vaatnet van het spijskanaal plotseling sterk met bloed wordt gevuld, dan moet er noodzakelijk voor de andere organen minder beschikbaar blijven. Hersenen en spieren hebben dus in den eersten tijd der spijsvertering minder bloed tot hun dienst dan anders. Zij kunnen dus niet zoo krachtig werken. Dat voelen wij dikwijls aan ons zelf; een arbeid, waarbij groote herseninspanning of spierinspanning vereischt wordt, zullen de meeste menschen bij voorkeur niet onmiddellijk na het eten verrichten. Niet dat men zich juist daarom na het eten angstvallig van elke spierbeweging behoeft te onthouden, of aan de hersenen volkomen rust moet geven door slaap; een arbeid, waarbij van hersenen of spieren niet al te veel gevergd wordt, kunnen ze zeer goed ook na het eten verrichten. Alleen *inspanning* is onraadzaam. De wandeling na het eten, waaraan vele menschen gewoon zijn,

brengt hunne spijsvertering niet in de war, maar zal die ook niet bevorderen; de beteekenis van zulk een wandeling ligt hoofdzakelijk daarin, dat het suf en slaperig worden er door voorkomen wordt. In deze zaak geldt ook al weer, zooals in zoo vele gevallen, de regel, dat ons dat het best bekomt waaraan we gewoon zijn geraakt.

Het gebruik om na het eten koffie te drinken, is in dit opzicht zeer goed verdedigbaar. We drinken koffie niet zoozeer om de spijsvertering te bevorderen, maar om de slaperigheid na het eten tegen tè gaan. Een der werkzame bestanddeelen van de koffie, de caffeïne, bewerkt een vermeerderden bloedsaandrang naar de hersenen. Nu gaat slaperigheid, zoowel die na het eten als de gewone slaperigheid die wij 's avonds ondervinden, gepaard met een verarming van de hersenen aan bloed. Het laat zich dus begrijpen hoe wij door koffie, die den bloedstroom naar de hersenen doet toenemen, de slaperigheid kunnen tegengaan.

De zoogenaamde digestiekoorts, die velen na een rijkelijken maaltijd in meer of mindere mate ondervinden, berust op hetzelfde. Als het bloed rijkelijk naar onze spijsverteringswerktuigen stroomt, zal er niet alleen voor hersenen en spieren maar ook voor de huid minder dan anders beschikbaar zijn. De huid nu staat voortdurend warmte aan de omgeving af en wanneer dat verlies aan warmte niet voldoende door het warme bloed weer wordt aangevuld, dan wordt de huid koud; dat merken we op aan de ijskoude huid van den stervende, bij wien de bloedsomloop al zwakker en zwakker wordt; dat merken we ook op aan de koude huid van den lijder aan tusschenpoozende koorts, als de aanval "aan 't opkomen is". Dan zijn bij dien lijder de bloedvaten van de huid sterk krampachtig samengetrokken, zoodat de huid in zeer onvoldoende mate bloed ontvangt en daardoor sterk afkoelt. Evenzoo zal nu ook bij krachtige spijsvertering de huid koud kunnen worden, al is het dan ook door een andere oorzaak dan in beide aangehaalde gevallen. Bij de digestiekoorts krijgt de huid weinig bloed, niet omdat hare bloedvaten zich krampachtig samentrekken, ook niet omdat de geheele bloedsomloop verzwakt, maar omdat het bloed zich bij voorkeur begeeft naar de buikingewanden en er dus minder voor de andere lichaamsdeelen, en daaronder voor de huid, beschikbaar blijft. Een overvulling dus van het spijskanaal met bloed, zooals ze na een rijkelijken maaltijd plaats heeft, zal

de. overige organen betrekkelijk armer maken aan bloed. Is dat waar, dan moet ook het omgekeerde kunnen plaats hebben; dan moeten, als de vaten van het darmkanaal zich sterk samentrekken en daardoor weinig bloed ontvangen, de overige organen des te bloedrijker worden, en ook dat heeft werkelijk in sommige gevallen plaats.

Algemeen wordt het voor zeer schadelijk gehouden, veel koud water te drinken als men verhit en bezweet is, en de gevallen zijn dan ook menigvuldig genoeg die bewijzen, dat deze meening op goede gronden steunt. Wanneer we door sterke spierinspanning verhit zijn, dan stroomt het bloed met veel grootere kracht dan gewoonlijk door het lichaam, dat voelen we aan het sterk kloppen van ons hart. Ook het darmkanaal deelt in dien algemeen versterkten bloedstroom.

Nu zijn gladde spiervezels door koude zeer prikkelbaar; plotselinge wijzigingen van temperatuur bewerken gemakkelijk een samentrekking dier elementen. Wij zien dat zeer duidelijk aan het zoogenaamde kippenvel. Ieder kent dat eigenaardig verschijnsel, dat ontstaat als we een gedeelte van de huid, dat gewoonlijk door kleêren bedekt is, b. v. den arm, plotseling aan een koele omgeving blootstellen. De huid wordt dan met talrijke kleine heuveltjes bedekt, die haar het uiterlijk geven van een geplukte vogelhuid. Onderzoekt men die heuveltjes nauwkeurig, dan blijkt het dat elk daarvan op zijn top een haartje draagt.

Dat brengt ons op weg om te verklaren wat kippenvel is. De haren zijn in de huid niet loodrecht bevestigd, maar min of meer schuins, zoodat ze in den gewonen toestand met het vlak van de huid geen rechten, maar een scherpen hoek maken, iets waarvan ieder zich gemakkelijk aan zijn eigen arm kan overtuigen. Aan den bodem nu van het haarzakje, waarin het haar bevestigd is, is een spiertje verbonden dat, zooals nevensgaande figuur 25 aanwijst, schuin naar boven, dat is naar de oppervlakte van de huid, loopt. Wanneer dus dat spiertje zich samentrekt, zal het haarzakje en tevens daarmede het haar iets omhoog getrokken worden en dus boven het vlak der huid eenigszins uitpuilen. Er vormt zich een heuveltje zooals we dat bij het kippenvel kunnen zien. Dat verschijnsel toont ons dus hoe gemakkelijk bij de plotselinge afkoeling der huid de kleine huidspiertjes zich samentrekken.

Evenzoo zullen, wanneer de inwendige oppervlakte van de maag

Fig. 25.



Een haar met haarzakspiertje. — *oh* opperhuid. — *lh* lederhuid (de diepere laag der huid). — *hz* de haarzak, die het haar, voor zoover het in de huid ligt, omgeeft. — *h* het buiten de huid uitstekende deel van het haar. — *sm* smeerkliertje dat het haar vettig houdt. — *sp* haarzakspiertje met het eene eind in de lederhuid, met het andere eind aan den haarzak bevestigd. — (De omringende deelen zijn niet uitgewerkt, maar wit gelaten.)

en het darmkanaal plotseling sterk wordt afgekoeld, de spiervezels van de daar verloopende bloedvaten zich krachtig samentrekken en daardoor die bloedvaten sterk vernauwen. Dat zal dus plaats hebben als er in de maag plotseling een groote hoeveelheid koud water komt. In gewone omstandigheden nu, wanneer de bloedstroom niet overmatig sterk is, zal dat niet zeer storend werken. Wel is waar vindt het bloed door de vaatvernauwing in het spijskanaal grooten weerstand en zal dus meer dan vroeger naar de andere organen met name hersenen en longen stroomen, maar een kleine versterking van den bloedstroom zal in die organen nog geen dadelijke schade aanrichten. Anders wordt het echter, wanneer de aanvankelijke bloedstroom reeds zeer krachtig is, zooals na sterke spierinspanning. Dan zal het dus, om het zoo uit te drukken, weinig kunnen lijden; dan zal een geringe versterking van de op zich zelf reeds hooge bloeddrukking aanzienlijke stoornissen te weeg brengen. Dat gebeurt dan ook werkelijk. Wie sterk verhit zijnde, zich te buiten gaat aan koud water, bewerkt daardoor een plotselinge wijziging van zijn krachtigen bloedsomloop. Doordat het bloed minder in maag en darmkanaal wordt opgenomen, ten gevolge van de daar plaats hebbende vaatvernauwing, zal de toch reeds hooge bloeddrukking in hersenen en longen nog toenemen en daardoor een graad bereiken, die voor de verrichtingen dier organen storend kan werken.

Een frissche oorveeg maakt de wang, waarop zij wordt geapplicceerd, binnen weinige oogenblikken gloeiend rood, en tamelijk langen tijd kan die roodheid blijven bestaan. Een mosterdpap, op de huid gelegd, bewerkt wel is waar niet zoo spoedig, maar ten slotte even sterk en nog sterker een dergelijke roodheid. In beide gevallen hebben wij met hetzelfde verschijnsel te doen, met een locale verwijding van de bloedvaten der huid en een daardoor veroorzaakten vermeerderden bloedtoevoer. Dat verschijnsel komt tot stand op de volgende wijze.

Wij hebben straks opgemerkt dat de zenuwcellen, van waar uit de prikkels naar den spierrok der vaten worden afgezonden, de zoogenaamde vaatcentra, niet alleen in de hersenen en het ruggemerg gelegen zijn, maar dat ook langs de vaten zelf zenuwcellen voorko-

men, die op de wijdte der vaten invloed uitoefenen. Die laatsten zou men kunnen noemen locale vaatcentra. Men moet zich nu voorstellen, dat ook van die locale centra voortdurend prikkels naar de spiervezels der vaten uitgaan, zoodat ook deze centra het hunne zullen bijdragen om de bloedvaten in een zekeren graad van samentrekking te houden. Wanneer nu die locale centra plotseling ophouden werkzaam te zijn, dan zullen natuurlijk de vaten wijder moeten worden, omdat de spierrok dan minder tot samentrekking geprikkeld wordt dan vroeger.[1]

Het is nu een algemeene regel, die voor alle prikkelbare weefsels geldt, dat overmatig sterke prikkeling, overprikkeling, wel verre van overmatig sterke werkzaamheid te veroorzaken het prikkelbare orgaan tijdelijk onwerkzaam maakt. Een der best bekende voorbeelden daarvan is de verblinding die het gevolg is van fel licht; de prikkelbare einden van de gezichtszenuw worden door den buitengewoon sterken prikkel tijdelijk onwerkzaam gemaakt, zoodat ze voor gewone lichtindrukken dan niet meer ontvankelijk zijn. Eerst langzamerhand herstellen zij zich van de door overprikkeling te weeg gebrachte stoornis.

Dat dit zoo zijn moet, laat zich begrijpen als wij het volgende bedenken. Prikkeling van een zenuwvezel of een zenuwcel gaat gepaard met stoffelijke (scheikundige en andere) veranderingen in die cel of vezel, en wel zoo dat die verandering toeneemt met de sterkte van den prikkel. Nu laat het zich gemakkelijk aantoonen, dat de normale werkzaamheid van levende cellen zeer nauw gebonden is aan een bepaalden physischen toestand en een bepaalde scheikundige samenstelling, en dat reeds geringe wijzigingen in dien toestand of die samenstelling de normale werkzaamheid in hooge mate storen. Het laat zich dus begrijpen, dat, wanneer door een bijzonder sterken prikkel al te groote veranderingen in de cel zijn te weeg gebracht, dit op de werkzaamheid in die cel een storenden invloed moet hebben.

Het gaat er ongeveer mee, om een ruwe vergelijking te bezigen,

[1] De opmerking is hier misschien niet ondienstig, dat de hier gegeven voorstelling omtrent spinale en locale vaatcentra gegrond is op de zeer belangrijke proeven, daarover onlangs door Goltz gedaan (Pflügers Archiv IX en X) en later door Putzeys en Tarchanoff althans in dit opzicht bevestigd. Bij eene herhaling en wijziging der proeven van Goltz, waarover ik spoedig ter gelegener plaats hoop te berichten, heb ik ook verschillende verschijnselen opgemerkt, die krachtig voor de aanwezigheid van locale vaatcentra pleiten.

als met een gaskrachtmachine. De betrekkelijk kleine ontploffingen van een beperkte hoeveelheid gas en lucht brengen telkens den zuiger in beweging en doen de machine normaal werken. Wilde men echter de zooveel krachtiger dynamiet-ontploffingen tot beweging van den zuiger gebruiken, dan zou de machine al zeer spoedig of geheel uit elkaar geslagen of althans onklaar geworden zijn.

Al te sterke prikkels kunnen dus verlammend werken. De vaatcentra nu zijn zeer gevoelig, worden reeds door zwakke prikkels aangedaan. Ze zullen dus voor overprikkeling zeer vatbaar zijn. Sterke mechanische of chemische prikkels, die op de huid worden aangebracht, een oorveeg b. v. of een mosterdpap, zullen het eerst en het krachtigst werken op de bloedvaten van die plaatsen der huid waar zij worden aangewend. De daar aanwezige locale vaatcentra zullen door overprikkeling hunne werkzaamheid verliezen, de spiervezels der vaten verslappen en het bloed dringt krachtig in de verwijde kanalen. Eerst langzamerhand herstellen zich de vaatcentra van den hun toegebrachten schok en de opgetreden roodheid maakt weer plaats voor de normale kleur.

Wij kunnen dus kunstmatig, door huidprikkels, een plaatselijke overvulling van de huid met bloed bewerken. Volgens het straks gezegde echter zal een sterk vermeerderde bloedtoevoer naar een of ander lichaamsdeel gepaard moeten gaan met een verminderd bloedgehalte van naburige deelen. Stel dat naar een zekere streek van het lichaam een bepaalde hoeveelheid bloed stroomt, en dat dat bloed zich b. v. gelijkelijk tusschen de huid en de daaronder liggende deelen verdeelt. Wanneer wij nu de bloedvaten van de huid plotseling verwijden, dan neemt deze een grootere hoeveelheid bloed in beslag en er blijft minder voor de dieper liggende deelen over. Dat is een van de redenen voor het geneeskundig gebruik van huidprikkels. Wij zullen dat middel (mosterdpappen en dergelijke) aanwenden o. a. in zulke gevallen, waar wij in de dieper liggende organen een al te rijkelijken ziekelijk vermeerderden toevoer van bloed vermoeden. Wij trachten dan dien al te grooten rijkdom aan bloed te verminderen door aan het bloed rijkelijk gelegenheid te geven om in de sterk verwijde huidvaten te stroomen en zoodoende die diepere organen van hunnen overvloed te ontlasten.

DE ADEMHALING.

Onder de genietingen, die niets kosten en toch voor geen geld te koop zijn, zijn er weinige te vergelijken met de heerlijke gewaarwording van volkomen gezondheid. Wie ooit b. v. op een zomersche morgen-wandeling zich in dat genot heeft mogen verdiepen, wie weet wat het zeggen wil dan zijn existentie te savoureeren (als ik het zoo mag uitdrukken), wie het onbeschrijfelijk gevoel van kracht kent, dat dan ons lichaam doortintelt, de levenslust en de veerkracht die zich onzes ondanks uiten in een lustig lied en in een schijnbaar onzinnigen bokkensprong, die heeft zulk een uurtje voor geen schatten veil. Zuiver intellectueel genot moge verhevener en edeler heeten dan zulk een psychophysisch genot; — of 't intensiever is betwijfel ik. Trouwens niet iedereen die gezond is, voelt het in gelijke mate; er is voor noodig een zekere soort van fijngevoeligheid, een zekere oplettendheid op onze gewaarwordingen, zooals wij die op pathologisch terrein bij den hypochondrist vinden.

Onder de vele factoren van zulk een teug van het echte, onvergelijkelijke elixir vitae, staat een vrije onbelemmerde ademhaling mede bovenaan. Wij zetten de borst uit, breed en diep tot barstens haast toe, en snuiven (ademen is het woord niet) de frissche morgenlucht in. Dat werkt weldadig op den bloedsomloop, en deze weer op het gansche lichaam. Zulk een adem-gymnastiek doet ons goed, geeft ons kracht; wij kunnen alles, willen alles, durven alles.

Stel daar nu tegenover, och arme, den lijder aan "benauwdheid", onverschillig van welken aard. Waar is zijn veerkracht, waar zijn genot? Waar zijn levensmoed en levenslust? En hoe kan 't ook

anders, wanneer telkens en telkens weer de stekende pijn in de borst hem dwingt, de begonnen inademing halverwege te staken, of eenigerlei stoornis in strot of longen hem het ademhalen tot een moeielijken arbeid maakt. Waarlijk, de vraag is niet zoo onzinnig als ze wel schijnt: hoeveel kwaad humeur, hoeveel luiheid, hoeveel lafhartigheid moest eigenlijk heeten "belemmerde ademhaling?"

Die invloeden van vrije of van belemmerde ademhaling wijzen op een diep gevoelde ingrijpende behoefte van het organisme, een behoefte die de hoogst ontwikkelde levende wezens deelen met de laagste, de behoefte aan zuurstof.

Wij zullen de verschijnselen, door wier samenwerking die behoefte bevredigd wordt, en hetgeen daarbij tevens plaats heeft, in de volgende schetsen eenigzins nader beschouwen, voornamelijk voor zoover het ons eigen lichaam betreft.

Dat grootere dieren door gebrek aan toevoer van vrije lucht bezwijken, is waarlijk niet zoo heel moeielijk te constateeren. Het eerste het beste geval van stikking leert ons dat, en wie het voor waterdieren wil aantoonen, behoeft slechts de dieren te doen in water, waaruit door koking alle lucht verdreven is. Zorgt men dan slechts dat het water niet weer op nieuw lucht kan opnemen, dan ziet men na een korter of langer tijdsverloop de dieren te gronde gaan.

Om de geldigheid van dien regel ook voor de kleinste organismen aan te toonen, zijn die betrekkelijk ruwe proeven niet geschikt. Toch is het ook voor deze streng bewijsbaar, dat ze even goed voortdurenden toevoer van lucht noodig hebben als de hoogere dieren. Onder anderen op de volgende wijze.

Men heeft een plat ondiep metalen doosje, waarvan de bodem van glas is; het deksel, dat insgelijks van glas is, kan er luchtdicht op bevestigd worden. Nu worden de te onderzoeken organismen, b. v. een drupje slootwater met infusoriën, aan de ondervlakte van het deksel gebracht. Zij blijven dan door adhaesie er aan hangen, ook als het deksel weer op de doos geplaatst is. Nu zijn in de beide zijwanden van het doosje buisjes aangebracht, zoodat een stroom gas of lucht, die door het eene buisje binnenkomt, door het andere weer uitstroomt.

Wanneer nu het gansche toestelletje onder het mikroskoop wordt gebracht, dan ziet men de diertjes in den waterdroppel zich levendig bewegen. Doch als nu door de inwendige ruimte van het doosje een stroom waterstof wordt gevoerd, dan bevinden zich onze infusoriën in een atmospheer van waterstof. Vergiftig is dat gas niet, maar het bevat geen zuurstof en kan die dus ook aan de dieren niet leveren. Het gevolg is nu dat de bewegingen der diertjes langzamerhand trager worden, en eindelijk geheel ophouden. Wanneer dan bij de waterstof die hun wordt toegevoerd, lucht of zuurstof wordt gemengd, dan herleven ze spoedig weer, en zijn na korten tijd zoo monter als ooit te voren. Doch blijven ze in het zuurstofvrije gas, dan is na verloop van eenigen tijd hun lot onherroepelijk beslist en de herleving niet meer mogelijk. Ze zijn gestikt, het infusiedier zoo goed als de olifant of de walvisch.

En evenals het geheele dier door gebrek aan zuurstof sterft, zoo ook de samenstellende deelen, de cellen waaruit het dierlijk lichaam is opgebouwd; ook hun leven en hunne werkzaamheid kunnen niet voortgaan als hun de zuurstof wordt onthouden. Om ons daarvan door het gezicht te overtuigen, kunnen we niet beter doen dan bewegelijke cellen te nemen. We vinden die onder anderen zeer gemakkelijk in de mondholte van den kikker. Een klein stukje van het bekleedsel van het gehemelte onder het mikroskoop gebracht, doet ons de eigenaardige trilcellen zien, cellen die aan eene zijde met draadvormige uitsteeksels voorzien zijn, welke voortdurend snel heen en weer trillen. We sluiten zulke cellen op dezelfde wijze als zooeven in het platte doosje op, en voeren er weer zuivere waterstof over. En spoedig zien we dan de beweging al meer en meer vertragen en eindelijk geheel ophouden, om dan door vernieuwden luchttoevoer weer te beginnen. Blijven echter de trilcellen langen tijd van zuurstof verstoken, dan sterven ook zij door stikking zoo goed als elk ander samenstel van levende stof.

Die kleinste organismen, enkele cellen of eencellige dieren, zooals de infusoriën, bestaan slechts uit een klompje fijnkorrelige geleiachtige stof. Dat klompje is zoo klein, dat de zuurstof, die in het omringende vocht is opgelost, van den omtrek uit gemakkelijk tot in het inwendige van het wezentje kan doordringen; de afstand van oppervlakte tot centrum is in die kleine lichaampjes te gering, dan

dat er bizondere vervoermiddelen daarvoor noodig zouden zijn. Doch stel nu dat zulk een klompje aanzienlijk toeneemt in grootte, dan zal het inwendige daarvan onder minder gunstige omstandigheden verkeeren dan de uitwendige lagen. De zuurstof toch komt van buiten tot het dier; de buitenste lagen zullen die dus als het ware uit de eerste hand en rijkelijker kunnen ontvangen dan de meer naar binnen gelegene deelen. Zoodra dus de omvang van het dier eenigzins toeneemt, moeten er inrichtingen aanwezig zijn, die bewerken dat het geheele lichaam in gelijke mate van de uit de omgeving toegevoerde zuurstof kan genieten, m. a. w. er moeten *ademhalingswerktuigen* optreden.

Die ademhalingswerktuigen kunnen op zeer verschillende wijzen zijn ingericht. Wanneer men voor het oogenblik de hoogst ontwikkelde diervormen buiten rekening laat, dan zijn het hoofdzakelijk twee beginselen, volgens welke die werktuigen gebouwd zijn.

In het eene geval zijn een of meer plaatsen aan de buitenzijde van het lichaam voor de opneming van zuurstof ingericht; daar bevindt zich een meer of minder groot aantal uitsteeksels, zeer verschillend van vorm; of eenvoudige staafjes, of platen, of pluimen, of veervormige aanhangsels; maar in elk geval zoo ingericht, dat ze een zoo groot mogelijke oppervlakte verkrijgen. In het inwendige van die uitsteeksels en aanhangsels loopen met vocht (bloed) gevulde kanalen. In elk afzonderlijk uitsteeksel is dus de afstand van de buitenoppervlakte tot aan het in dat uitsteeksel loopend kanaal zeer gering, en de lucht kan dus zeer gemakkelijk uit het omringende water tot in het bloed doordringen. Het is nu niet meer het geheele lichaam dat de lucht direct opneemt, maar het bloed is met die opneming belast. En het doet dat niet overal, maar slechts op die plaatsen waar die opneming het gemakkelijkst gaat, n.l. in de uitsteeksels, waar het bloed met het omringende water zoo na mogelijk in aanraking komt. Zulk een uitsteeksel, waarin bloed stroomt en aan welks oppervlakte de opneming van lucht door dat bloed plaats heeft, heet een *kieuw*.

Het valt nu gemakkelijk in te zien, waarom bij het optreden van kieuwen, steeds een vergrooting van oppervlakte door de ontwikkeling van uitsteeksels noodzakelijk is. Want de ademhaling heeft nu niet meer plaats over de geheele oppervlakte van het lichaam, maar

slechts op een beperkt gedeelte daarvan. Daaruit volgt dat dan ook op dat gedeelte de oppervlakte over welke het bloed zuurstof kan opnemen zoo groot mogelijk moet worden gemaakt.

Bij kieuw-ademhaling zoekt dus het bloed de zuurstof op, op een bepaalde plaats van het lichaam, waar de opneming van die zuurstof het gemakkelijkst gaat. Van daar uit stroomt het bloed door het gansche lichaam en brengt de zuurstof overal heen naar de verschillende weefsels.

Bij de ademhalingswerktuigen die volgens het andere beginsel gebouwd zijn, is het tegenovergestelde het geval. Om het kort uit te drukken, hier zoekt niet het bloed de zuurstof op, om die dan verder door het lichaam te vervoeren; maar de zuurstof zelf verbreidt zich door het geheele lichaam en zoekt de weefsels op. Wanneer we ons voorstellen dat aan de buitenzijde van het lichaam openingen aanwezig zijn, en dat van die openingen kanalen uitgaan die zich al fijner en fijner vertakken en zich door het gansche lichaam verbreiden, en dat in die kanalen lucht aanwezig is, dan wordt het begrijpelijk, dat op die wijze in de behoefte aan zuurstof eveneens kan worden voorzien. De weefsels zijn dan niet met zuurstofhoudend bloed, maar direct met de zuurstof zelf in aanraking.

Ademhalingswerktuigen, die volgens dit beginsel zijn ingericht, heeten luchtbuizen of tracheën.

Wij zullen hier niet de hoogst menigvuldige vormen bespreken, waaronder die beide soorten van ademhalingswerktuigen zich kunnen voordoen, maar er alleen op wijzen, dat de ademhaling door kieuwen in het water plaats heeft, die door tracheën in de lucht, en tevens dat uit den aard der zaak de kieuwademhaling een meer volkomen vaatstelsel vereischt dan die door tracheën. Want bij deze laatste behoeft het bloed niet op te treden als vervoermiddel van zuurstof naar de weefsels. Bij de kieuwen toch geschiedt de ademhaling op een beperkte plaats van het lichaam, en moet er dus zulk een vervoermiddel aanwezig zijn.

Is nu voor dieren, die in de lucht en niet in het water leven, de ademhaling door kieuwen mogelijk?

Die vraag moet in 't algemeen ontkennend beantwoord worden, ofschoon op andere gronden dan die men vroeger daarbij aanvoerde. Vroeger redeneerde men aldus: een kieuw kan dan alleen werken als

ademhalingsorgaan, wanneer zij van rondom door water omspoeld is. Want wanneer dat niet het geval is, dan verdroogt de buitenvlakte van de kieuw in de lucht, en de oppervlakte over welke het bloed zijn zuurstof moet opnemen, verschrompelt en verliest hare spanning, zoodat die opneming daardoor zeer belemmerd wordt. Daarom moet een ademhalingsorgaan, dat lucht ademt, binnen in het lichaam gelegen zijn, waar het voor uitdroging beter beschut is.

Volgens deze redeneering zou dus het sterven van een visch op het droge veroorzaakt worden door belemmerde ademhaling ten gevolge van verdroging der kieuwen. Doch dat dit niet geheel juist is, dat althans het uitdrogen der kieuwen hierbij niet de hoofdrol speelt, leeren de onlangs gedane proeven van BERT. Daaruit blijkt dat het niet zoo zeer de uitdroging der kieuwen is, als wel het samenvallen daarvan, wat de belemmerde ademhaling en daardoor den dood veroorzaakt. Zullen de kieuwen goed werken, zal het bloed over een zoo groot mogelijke oppervlakte met zuurstofhoudend water in aanraking zijn, dan moeten ze wijd uitgebreid zijn en in het omringende vocht flotteeren. Zoodra ze niet meer door vocht omspoeld worden, vallen ze slap op een hoop te zamen, en hunne werkzame oppervlakte wordt dan aanzienlijk verkleind. Men behoeft slechts een of ander dier met pluimvormige of veervormige kieuwen levend in het water te zien, om den grooten invloed, dien de aanwezigheid van water heeft, te kunnen waardeeren. Zoolang het dier in het water is, staan de pluimen der kieuw wuivend naar alle zijden uitgebreid; ook de fijnste draadvormige uitsteeksels zijn rondom door het vocht waarin zij zweven omspoeld, en het laat zich licht begrijpen dat zoodoende de gezamenlijke ademhalingsoppervlakte een zeer aanzienlijke zijn moet. Maar zoodra is niet het dier uit het water of de sierlijk wuivende pluim valt slap tot een onbeduidend hoopje te zamen. Niet alleen dat nu de ademhalingsoppervlakte hierdoor veel kleiner wordt, maar ook wordt door het geknikt samenvallen der draden en pluimen de bloedsomloop in de kieuw aanmerkelijk belemmerd, en beide oorzaken te zamen hebben den dood van het dier ten gevolge.

Ademhalingswerktuigen voor dieren die niet in het water leven, kunnen dus, wanneer ze aan eenigszins hooge eischen moeten voldoen, onmogelijk volgens het schema van een kieuw gebouwd zijn.

De longen der hoogere dieren zijn niet en kunnen niet zijn ontwikkelingsvormen der kieuwen, maar zijn volgens een geheel ander beginsel gebouwd. Uit een physiologisch oogpunt staan de longen in nauw verband met de tracheën der insekten en wel op de volgende wijze.

Gewoonlijk heeft een insekt aan weêrszijden van het lichaam negen ademgaten, van waar de luchtbuizen met al hare vertakkingen zich door het gansche lichaam verbreiden. Hier behoeft nu, zooals straks is uiteengezet, het vaatstelsel niet sterk ontwikkeld te zijn, omdat de lucht zelf direct aan de organen wordt toegevoerd, en dus het bloed niet als vervoermiddel behoeft op te treden. Maar gesteld eens dat de vertakking der luchtbuizen minder sterk wordt en tevens het aantal ademgaten geringer, dan zal, om de ademhaling met dezelfde intensiteit te doen plaats hebben, het vaatstelsel sterker ontwikkeld moeten zijn. En dit vinden we dan ook werkelijk bij een aantal spinachtige dieren, en onder deze het meest bij de schorpioenspinnen (Phrynidae). Bij deze komen, in plaats van de negen ademgaten, slechts twee aan elke zijde voor, en van deze gaten gaan luchtbuizen uit, die zich niet vertakken maar na een kort verloop in platte zakjes uitmonden, die in grooten getale ongeveer als de bladen van een boek naast elkander liggen. Hier is de ademhaling dus veel meer gelocaliseerd; de lucht wordt niet door tracheën door het geheele lichaam gevoerd, maar ze komt niet verder dan die zoogenaamde longzakjes. Daar moet het bloed de zuurstof komen halen, en men vindt dan ook bij zulke dieren met longzakken het bloedvatenstelsel veel sterker ontwikkeld dan bij de dieren met vertakte tracheën.

We vinden dus bij die schorpioenspinnen de eerste rudimenten van longen, waarbij trouwens erkend moet worden, dat hier de overeenkomst alleen een physiologische is en niet een morphologische. Onze weg tot de longen der zoogdieren leidt nu langs een orgaan, dat we misschien op deze plaats niet verwacht hadden, n.l. de zwemblaas der visschen.

Bij een zeer groot aantal visschen komt zulk een zwemblaas voor, gelegen in den buik en wel langs de wervelkolom. Het is een blaas die zeer verschillende vormen kan vertoonen bij de verschillende soorten van visschen. Bij sommige is ze volkomen gesloten, staat niet met de buitenwereld in verband en kan dus moeielijk tot eigenlijke ademhaling dienen. Daarentegen komt bij een aantal andere een kanaal

voor, dat van de zwemblaas naar den slokdarm loopt en hierin uitmondt, zoodat daardoor de zwemblaas met het spijskanaal in verbinding treedt. Terwijl nu bij de meeste visschen, die de zwemblaas niet als ademhalingswerktuig gebruiken, dat kanaal aan de rugzijde uitmondt, zien we bij die visschen, die den overgang vormen tot de hoogere klassen, die uitmonding zich verplaatsen naar de buikzijde van het spijskanaal. Die verandering van monding doet de zwemblaas bij die hoogere visschen reeds meer met longen overeenkomen, want eigenlijke longen moeten altijd aan de buikzijde van het spijskanaal uitmonden.

En nu zijn er visschen, waarbij de zwemblaas niet alleen in plaatsing en uitmonding met de longen overeenkomt, maar ook in verrichting, daar ze, althans tijdelijk, de rol van ademhalingswerktuig op zich neemt.

De merkwaardige visch *Lepidosiren annectens*, leeft in de rivier Gambia in West-Afrika. In den regentijd treedt die stroom geregeld buiten zijn oevers en trekt zich in het droge saizoen weer terug. Een aantal kreken en oeverplassen worden dan nagenoeg geheel droog. De Lepidosirens, die in die modderpoelen terug blijven, kruipen, naarmate de poel meer en meer uitdroogt, steeds dieper in den modder, totdat ze, als de modder door de brandende zon tot een harde korst is opgedroogd, geheel er onder zitten. De visch ligt dan opgerold in een nest van hard gebakken klei, dat door een kleine opening met de lucht in gemeenschap staat. Hij is dan van waterdier landdier geworden. Met zijn kieuwen kan hij niet meer ademen. Maar nu komt zijn zwemblaas of liever zijn long in het spel: de bloedstroom door de kieuw houdt bijna geheel op en neemt daarentegen in den wand van de zwemblaas sterk toe. Die blaas vult zich geregeld met lucht, en het bloed van het dier kan daar de noodige zuurstof opnemen. Zoo wacht de visch in een toestand van verdooving het natte saizoen af. Eindelijk begint de regentijd, de hard gedroogde klei wordt nat en week, en de Lepidosiren, weer visch geworden, verbreekt zijn modderkerker en zwemt heen. Daarbij is de long weer op non-activiteit gesteld, de bloedstroom door de kieuwen herstelt zich weer, en deze treden weer in hun functie als ademhalingswerktuigen.

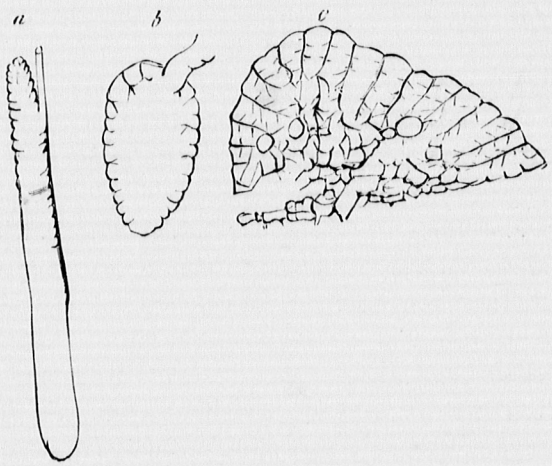
Lepidosiren vormt, zooals zijn soortsnaam *annectens* (de verbindende)

reeds aanduidt, een van de overgangen van de visschen tot de hoogere klassen der gewervelde dieren. En in die hoogere klassen vinden we dan ook de verrichting der long als ademhalingswerktnig, die bij Lepidosiren slechts tijdelijk bestaat, tot een blijvende geworden. Daarbij ontwikkelen zich die longen steeds verder in een bepaalde richting. De zwemblaas-long van Lepidosiren is nog een zeer onvolkomen ademhalingswerktuig; het zijn twee langwerpige zakken waarin zich de oorspronkelijk enkelvoudige zwemblaas verdeeld heeft. In den wand van die zakken loopt een vaatnet waarin bloed stroomt. Maar de inwendige oppervlakte van zulk een zak is glad, en de uitgebreidheid, waarover het bloed met de lucht in aanraking komt, is dus niet zeer aanzienlijk. Vandaar dat de gaswisseling tusschen bloed en lucht niet zeer krachtig kan plaats hebben. Datzelfde vinden we ook nog bij sommige dieren uit de klasse der amphibiën, o. a. bij de salamanders, waar de long inwendig nog geheel glad is. Het ligt nu voor de hand dat de ademhalingsoppervlakte grooter wordt, wanneer de long niet glad, maar met naar binnen inspringende richels voorzien is. Zoo is het o. a. reeds eenigermate bij den merkwaardigen bekenden Axolotl. De slangen hebben meestal van de beide longzakken slechts één sterk ontwikkeld; deze is dan een zeer langwerpige zak. Het voorste gedeelte van dien zak is inwendig vrij sterk gericheld, zoodat er een aantal vakjes ontstaan. Dat geeft natuurlijk vergrooting van inwendige oppervlakte, hetgeen de gaswisseling tusschen bloed en lucht begunstigt. Dat voorste gedeelte is dan ook het eigenlijke gedeelte van de long waar de ademhaling plaats heeft. Het achterste gedeelte van dien langen longzak is daarentegen glad. En daarmede hangt het samen dat dit achterste gedeelte waarschijnlijk niet in de eerste plaats ademhalingswerktuig is, maar meer optreedt als reservoir van lucht. Zulk een reservoir heeft dan ook de slang wel noodig. Want wanneer ze een omvangrijke prooi langzaam doorslikt, wordt daardoor de luchtpijp samengedrukt. En die samendrukking duurt zoolang, dat het dier gevaar zou loopen van te stikken, wanneer het niet in het achterste gedeelte van zijn lange long een vrij grooten voorraad lucht beschikbaar had.

Bij den kikker zijn de longen reeds volkomener ontwikkeld, zij zijn over de geheele inwendige vlakte met inspringende richels voorzien, zoodat de long van binnen gezien zich voordoet als in een

aantal vakjes verdeeld. Die richels springen echter niet zeer ver naar binnen in, zoodat die vakjes slechts ondiep zijn. Dit wordt bij de schildpadden reeds anders; daar springen de richels en tusschenschotten zoover in dat ze in het midden der longruimte sterk tot elkaâr naderen en zoodoende de geheele long in tamelijk diepe vakjes verdeelen. Stelt men zich nu voor, dat in die richels en tusschenschotten een rijk

Fig. 26.



a Long van een slang, *b* een kikker, *c* een schildpad.

bloedvatennet verloopt, dan ziet men licht in, dat de werkzame ademhalingsoppervlakte in de schildpaddenlong veel grooter is dan in de gladde salamanderlong.

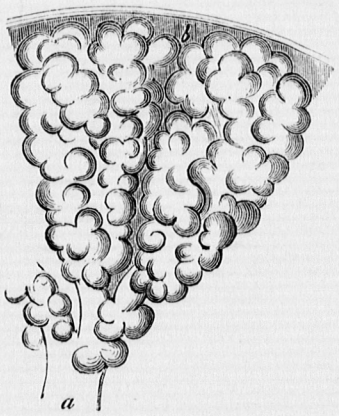
Bij al deze dieren echter is elk van de beide longen niet meer dan een enkele zak; hetzij dan meer of minder door inwendige tusschenschotten verdeeld. De luchtpijp verdeelt zich in twee takken, die elk in een longzak uitmonden. Tot nog toe is dus de noodzakelijke vergrooting van ademhalingsoppervlakte alleen bereikt door de inwendige vlakte der longzakken zelf, door de vorming van inspringende tusschenschotten, te doen toenemen. Het ligt nu voor de hand dat, zoo men een nog sterkere vergrooting van ademhalingsoppervlakte wil bereiken, deze daardoor zal kunnen worden gevonden, dat de luchtpijp zich niet in twee, maar in een veel grooter aantal takken splitst en dat elk van die takken in een longzakje uitloopt.

Volgens dit beginsel zijn de hoogstontwikkelde ademhalingswerktuigen, de longen van vogels en zoogdieren, gebouwd.

Boven aan de voorzijde van den hals kunnen we meer of minder duidelijk het strottenhoofd voelen, vooral de voorste punt van het grootste kraakbeen daarvan, het schildkraakbeen. Die punt steekt meestal bij mannen sterker vooruit dan bij vrouwen. Vandaar den naam Adamsappel, die die punt draagt, en de sage dat de appel, die Adam van Eva ontving, hem daar in de keel is blijven zitten.

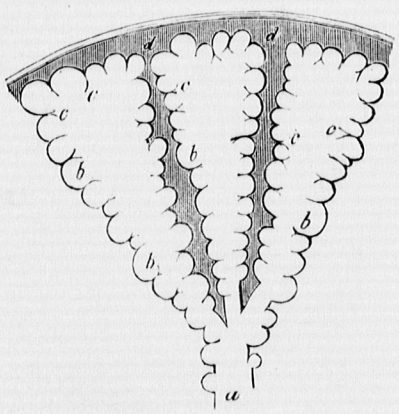
Met den vrij samengestelden bouw van dat strottenhoofd zullen we ons hier niet bemoeien, maar alleen vermelden, dat het een soort van korte koker is, die naar boven toe in den voorwand van de keel, beneden den tongwortel uitmondt. Naar beneden toe is aan het

Fig. 27.



Twee trechtvormige longzakjes; *a* luchtpijptakje, *b* omringend bindweefsel.

Fig. 28.

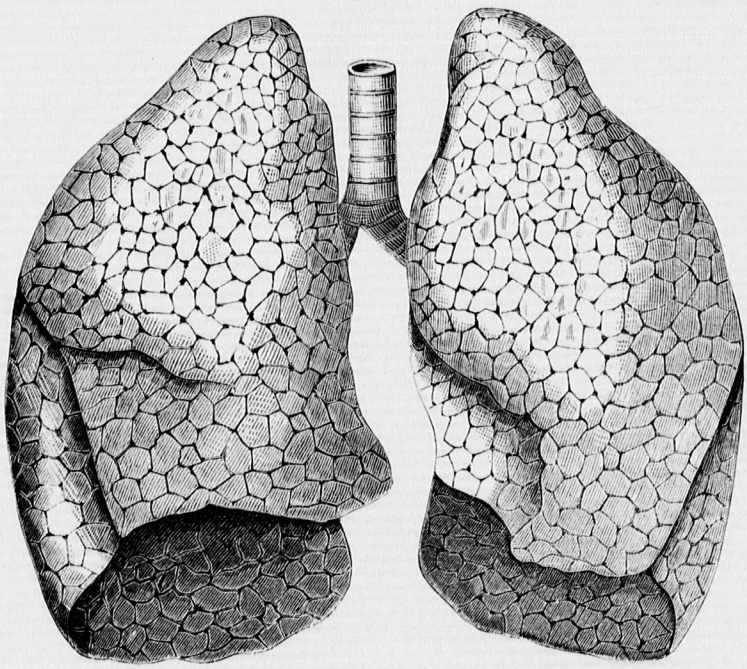


Drie longzakjes in doorsnede (Schematisch); *a* luchtpijptakje, *b* longblaasjes, (alveolen), *c* tusschenschotten (septa), *d* omringend bindweefsel.

strottenhoofd de luchtpijp verbonden; een buis die langs de voorzijde van den hals naar beneden tot in de borstholte loopt. Zij bestaat uit een aantal boven elkaâr geplaatste ringen van kraakbeen, die door stevige banden onderling verbonden zijn. Geheel in zichzelf terugkeerende ringen zijn het echter niet; aan de achterzijde van de luchtpijp vindt men geen kraakbeen, maar daar is de wand eenvoudig vliezig. In de borstholte gekomen, vertakt zich de luchtpijp in twee takken, een voor de rechter- en een voor de linkerlong. Deze

vertakken zich ieder weer in twee kleinere takken, deze weer in kleinere en zoo gaat het al voort, tot dat de kleinste takjes niet meer dan een derde tot een halve millimeter wijd zijn. Elk van deze fijnste luchtpijptakjes, waarvan er vele millioenen in de long aanwezig zijn, loopt uit in een trechtervormig longzakje, dat dan ook wegens dien vorm doorgaans den naam van trechter (infundibulum) draagt. Het luchtpijptakje loopt uit in het nauwe uiteinde van den trechter, zooals fig. 27 voorstelt. Elk van die tallooze trechtertjes nu is te ver-

Fig. 29.



De longen met een gedeelte der luchtpijp.

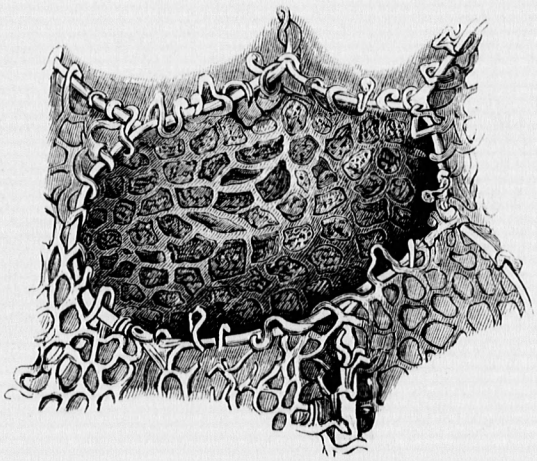
gelijken met een kikkerlong; het is een zakje waarvan de wand niet glad is maar door inspringende richels en schotjes in hokjes en vakjes verdeeld is. De opening van die vakjes is dus naar het inwendige van dien trechter gekeerd. Die vakjes heeten longblaasjes of alveolen, en de schotjes er tusschen septa (scheidswanden). De inwendige oppervlakte van die trechtertjes is dus, zooals men gemakkelijk na kan gaan, vele malen grooter dan wanneer het gladde zakjes waren.

Een aantal van zulke trechtertjes is door dunne laagjes bindweefsel

met elkaar verbonden tot zoogenaamde longkwabjes. Die kwabjes zijn eigenlijk longen in het klein, ieder kwabje ontvangt een luchtpijptak, die zich in fijnere vertakkingen splitst, om ten slotte in de trechtertjes uit te monden. Tusschen die kwabjes liggen weer dikkere lagen bindweefsel, die de naast elkaar liggende kwabjes van elkaar scheiden, en aan de buitenvlakte van de longen zeer goed met het blooteoog zichtbaar zijn, zoodat die vlakte zich, zooals in fig. 29, min of meer netvormig geaderd voordoet. Men ziet echter dan alleen de buitenste longkwabjes en meene niet dat die kwabjes, met hunne onderdeelen de trechtertjes, alleen in het buitengedeelte der long voorkomen. Ze zijn integendeel door de geheele long overal dicht aaneengesloten aanwezig.

In de trechtertjes heeft de eigenlijke ademhaling, d. w. z. de gaswisseling tusschen bloed en lucht, uitsluitend plaats; alleen die deelen zijn er op ingericht om gassen uit de lucht in het bloed en vice versa te doen overgaan. De wand der trechters bestaat n.l. uit een zeer dun vlies, dat rijkelijk met bloedvaten voorzien is, zooals ons het mikroskopisch onderzoek van een opgespoten long leert (verg. fig. 30). Die bloedvaten liggen echter zoo dicht onder de oppervlakte, dat ze, als zij met bloed gevuld zijn, in het inwendige van den trechter uitpuilen, zooals fig. 30 leert, die het vaatnet voorstelt van een enkele alveole, van het inwendige van den trechter uit gezien.

Fig. 30.



Een longblaasje met zijn haarvaatnet van de binnenzijde gezien.

Tevens zij hier nog opgemerkt, dat het weefsel der trechters en het tusschenliggende bindweefsel voor sterke uitzetting vatbaar is, en zich daarna weer met kracht kan samentrekken.

De luchtpijp en hare takken, grovere zoowel als fijnere, hebben

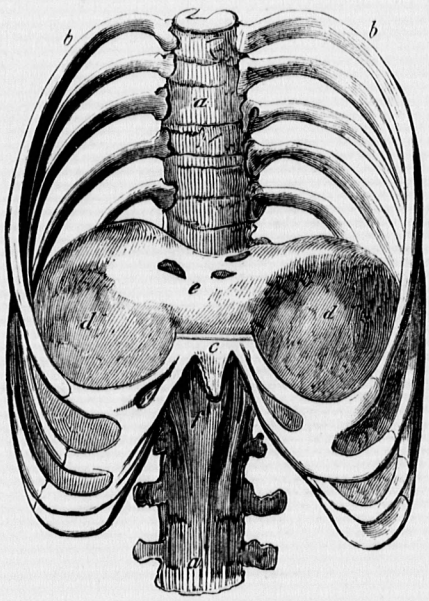
met de eigenlijke ademhaling niets te doen, en zijn alleen kanalen voor den toevoer van lucht naar de trechters.

Van de gladde salamanderlong tot aan de zoogdierlong met hare tallooze luchtpijptakken en trechters, is dus een oneindig groote afstand. Toch is de laatste niet anders dan de hoogste ontwikkeling der eerste, een ontwikkeling waarbij alles aangelegd is op vergrooting van inwendige oppervlakte.

Hoe geschiedt nu de toevoer van lucht tot dat orgaan, dat zoo bewonderenswaardig er op ingericht is om die lucht zoo innig mogelijk met het bloed in aanraking te brengen?

Wij zullen bij de beantwoording dier vraag ons tot de zoogdieren en meer in het bizonder tot den mensch bepalen, ofschoon de toevoer van lucht niet bij alle dieren met longen op dezelfde wijze geschiedt. Zoo b.v. ademt de kikker op zeer eigenaardige wijze, en slikt als het ware de lucht in; een voldoende uiteenzetting daarvan zou ons echter hier te lang ophouden. Onze longen zijn opgehangen in de borstkas, een beenige kooi als het ware, waarvan de achterwand gevormd wordt door de wervelkolom en de voorwand door het borstbeen, terwijl daartusschen de ribben boogvormig verloopen. Die ribben zijn met haar achtereinde door gewrichten bewegelijk met de wervels verbonden. Met het borstbeen hangen ze samen door middel van kraakbeenige stukken; een wijze van verbinding, die wel geen

Fig. 31.



Het benedenste gedeelte van de borstkas van voren geopend; *a* wervelkolom, *b* ribben, *c* het benedeneind van het weggenomen borstbeen, *d* spierachtig gedeelte van het middenrif, *e* vliezig midden-gedeelte, *f* oorsprong van het middenrif aan de wervel kolom.

groote maar altijd toch eenige bewegelijkheid veroorlooft. Er zijn van die ribben aan weerszijden twaalf, zoowel bij de vrouw als bij den man. Het nog tamelijk verspreide denkbeeld, waarvan de oorsprong niet ver te zoeken is, dat de man aan één zijde een rib minder heeft, is volslagen ongegrond. Van die twaalf ribben staan echter alleen de tien bovenste middellijk of onmiddellijk met het borstbeen in verband, terwijl de twee laatste volstrekt niet met het borstbeen samenhangen, maar, van de wervelkolom uit, een eindweegs in den buikwand naar voren loopen en dan ophouden. Zij doen dus eigenlijk niet mede aan de vorming van den beenigen wand van de borstkas.

De wervelkolom, het borstbeen en de ribben vormen dus de beenige voor-, achter- en zijwand van de borstkas. De benedenwand is niet beenig, maar wordt gevormd door een half vleezig, half vliezig tusschenschot, het middenrif of diaphragma genoemd. Dit middenrif vormt als het ware eene plaat, die de benedenopening van de borstkas afsluit. De randen van die plaat zijn vleezige spierplaten, die van de wervels, de ribben en het borstbeen ontspringen en naar het midden van de plaat verloopen, waar ze allen eindigen in het vliezige centrale gedeelte van het middenrif.

Op de wijze van beweging van dit middenrif komen wij straks nog nader terug.

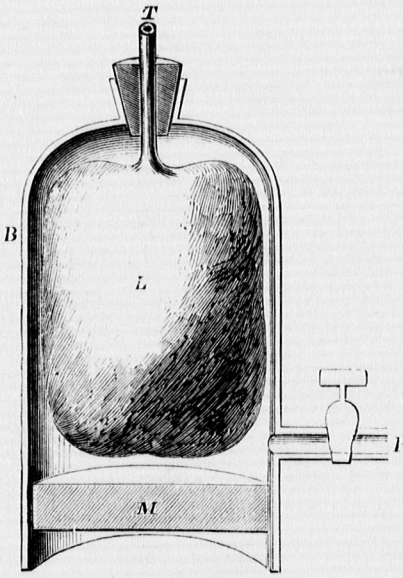
In deze borstkas nu zijn de longen opgehangen, maar op een zeer eigenaardige wijze. Verbeeld u twee dunne vliezige zakken, de een iets kleiner dan de ander. Stel nu dat de kleinste zak in den grootsten is gestoken en dat de randen der openingen van beide zakken aan elkaar zijn vastgemaakt, zoodat we eigenlijk dan slechts één zak hebben met een' dubbelen wand. Nu vormt de buitenwand de binnenste bekleeding van de borstkas, en de binnenste zak omkleedt van buiten de longen. De beenige borstkas nu wordt door een vliezig tusschenschot in een rechter en linker helft verdeeld, en in elk van die helften is op de zooeven beschreven wijze een long opgehangen.

De long is dus niet aan den beenigen borstwand vastgegroeid, maar moet toch alle bewegingen van den borstwand volgen. Dat dit het geval is, laat zich gemakkelijk begrijpen volgens het schema van figuur 32.

Laat B zijn een glazen flesch, die van beneden niet door een glazen bodem gesloten is, maar door een bewegelijke schijf M, die even als een zuiger op en neer kan gaan. In den hals is eene buis T

bevestigd, aan wier ondereinde een zeer elastische zak L is vastgemaakt. Laat ons nu dien zak L zoo sterk mogelijk opblazen, zoodat hij zich uitzet en de geheele inwendige ruimte van B opvult. Bij dat uitzetten moet natuurlijk de lucht, die nog tusschen L en B aanwezig is, door eene opening (b.v. P) kunnen ontwijken. Wanneer nu L geheel is opgeblazen en P dan gesloten wordt, dan zal L uitgezet blijven en niet samenvallen, ook al wordt de opening van de buis T niet gesloten. De luchtdrukking door T houdt L uitgezet; op den buitenwand van L kan de lucht niet drukken, want tusschen L en B is geen lucht, en in den wand B is geen opening waardoor de lucht zou kunnen toetreden. Zoolang dus de ruimte van B onveranderd blijft, zal ook het volume van L gelijk blijven. Maar wordt nu de ruimte in B grooter, wordt b.v. de zuiger M naar beneden getrokken, dan zal het gevolg daarvan zijn, dat L nog meer wordt uitgezet en de beweging van M volgt.

Fig. 32.



Wanneer we nu in plaats van B de borstkas stellen, in plaats van L de longen en in plaats van T de luchtpijp, dan kunnen we ons een denkbeeld er van maken hoe de long, zonder met den borstwand vergroeid te zijn, toch alle bewegingen daarvan volgen moet. De long is een zeer rekbare zak, die steeds de geheele voor haar beschikbare ruimte van de borstkas opvult, omdat ze door de luchtdrukking wordt uitgezet gehouden. Dat kan echter alleen dan gebeuren, wanneer op den buitenwand van de long de lucht niet drukken kan, wanneer dus de borstkas B goed gesloten is en nergens aan de lucht toegang verleent. Doch als die sluiting nu eens niet volkomen is, als een opening in de borstkas ontstaat, wat dan? Wat er dan gebeurt kunnen we aan ons zooeven besproken schema zien, door het buisje bij P weer open te maken. Dan zal oogenblikkelijk

L samenvallen, niet meer de geheele ruimte van B opvullen, en tot op een klein gedeelte van het vroeger volume worden teruggebracht.

Datzelfde zal gebeuren zoodra er eene opening in den borstwand aanwezig is. Wanneer iemand een steek in de borst krijgt die eene ruime opening maakt, dan zal door die opening de lucht in de borstholte kunnen toetreden. De lucht drukt dan ook op den buitenwand van de long, en deze drukking zal evenwicht maken met de drukking die van binnen door de luchtpijp op de long wordt uitgeoefend. Die beide gelijke luchtdrukkingen wegen tegen elkaar op, er is geen reden meer waarom de long uitgezet zou blijven, en door hare elasticiteit valt ze samen. Zij vult dan de borstkas niet meer geheel op. Natuurlijk kan in zulk een geval de long de bewegingen van de borstkas niet meer volgen; want gesteld dat de borstholte ruimer wordt, dan zal de lucht eenvoudig door de opening in den borstwand binnentreden en de daardoor ontstane ruimte aanvullen. Van daar dat bij eene borstwond, ook al is de long zelf niet beschadigd, de ademhaling zeer bemoeielijkt is.

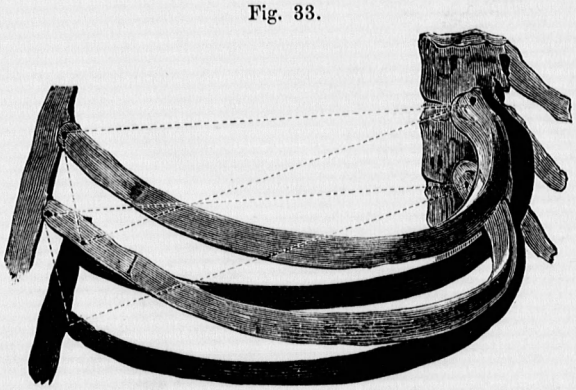
De buitenvlakte van de longen moet dus onmiddellijk tegen den binnenwand van de borstkas aanliggen; er mag niets tusschen zijn. Niet alleen geen lucht, maar ook geen aanmerkelijke hoeveelheid vocht. Ook dat laatste heeft plaats in sommige ziekelijke toestanden, waarbij abnorme ophoopingen van vocht tusschen long en borstwand aanwezig zijn. Ook daarbij is de vrije bewegelijkheid van de long en daarmede de ademhaling sterk gestoord.

In den gewonen toestand is dus de long zoodanig in de borstholte opgehangen, dat ze boven haar natuurlijk volume is uitgezet, d. w. z. boven het volume dat zij zou innemen, wanneer ze alleen aan haar eigen elasticiteit kon gehoor geven. Doch ook dan wanneer ze door haar eigen elasticiteit geheel samenvalt, zooals dat bij een borstwond het geval is, zal ze toch nooit geheel luchtledig worden. De samentrekking gaat niet zoo ver, dat het inwendig volume van de long geheel nul wordt en alle lucht wordt uitgeperst. Een long die eenmaal geademd heeft en met lucht gevuld is geweest, blijft altijd (behoudens enkele uitzonderingen, die wij hier kortheidshalve onbesproken moeten laten), ook na den dood, luchthoudend. Daarop berust de zoogenaamde longenproef, die van waarde is waar men wil beslissen, of een long geademd heeft of niet. Bij een beschuldiging

van kindermoord kan zich zulk een geval voordoen. Het ongeboren kind heeft nog niet geademd, zijne longen zijn nog niet luchthoudend. Komt het kind nu dood ter wereld, d. i. zonder geademd te hebben, dan zullen de uit het lijkje genomen longen in water zinken. Maar heeft het kind na de geboorte geleefd, d. i. geademd, dan zal ook na den dood de lucht niet geheel uit de longen verdwenen zijn, en de longen zullen dan, door dat luchtgehalte, op het water drijven. Men heeft dus in zulk een longenproef een niet onbelangrijk hulpmiddel tot beantwoording van de vraag of een kind na de geboorte geleefd heeft of niet.

Bij de ademhaling moeten de longen afwisselend grooter en kleiner worden; als ze grooter worden stroomt de lucht door de luchtpijp er in (inademing), als ze kleiner worden wordt een gedeelte van de lucht die ze bevatten uitgeperst (uitademing). Omdat nu de longen in den normalen toestand de bewegingen van de borstkas volgen, is dit in- en uitademen een noodzakelijk gevolg van het grooter en kleiner worden der borstkas. Wij hebben dus in de eerste plaats te vragen: hoe komen de bewegingen van de borstkas tot stand?

Fig. 33.



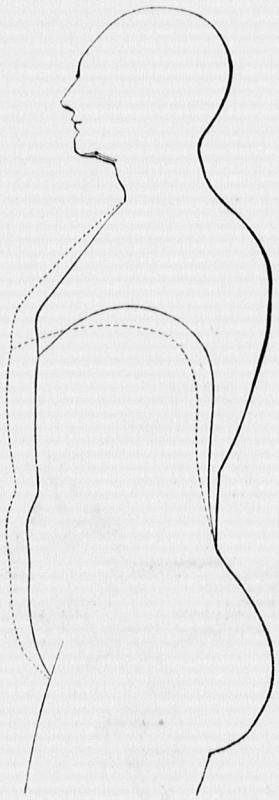
Schema voor de beweging der ribben bij de ademhaling. De ribben in rustenden stand (uitademing) zijn zwart geteekend.

De borstkas kan vergroot worden, vooreerst in de dwarse afmeting. Hoe dit geschiedt, wordt duidelijk, als wij de inrichting der ribben nagaan. Zooals straks is opgemerkt, zijn deze beenderen door gewrichten aan de wervelkolom verbonden. Die gewrichten veroorloven een zekere bewegelijkheid, een draaiing der ribben om een horizontale van rechts naar links gaande as. Daarbij blijft het met de wervelkolom verbonden achtereind der ribben op dezelfde hoogte, maar het vóóreinde, en

daarmede het borstbeen, gaat omhoog. Nu loopen in rustenden toestand de ribben schuin naar voren en beneden. Wanneer ze dus omhoog gaan, zal de afstand tusschen borstbeen en wervelkolom, zooals een blik op de eenvoudige figuur 33 leert, grooter moeten worden; het borstbeen verwijdert zich van de wervelkolom, de borstkas wordt vergroot in de richting van voren naar achteren.

Behalve deze verwijding van de borstkas heeft er nog eene vergrooting plaats in overlangsche richting, d. i. in de richting van boven naar beneden. Het middenrif, dat, zooals we straks gezien hebben, als het ware den bodem van de borstholte vormt, staat in den toestand van rust bolvormig omhoog gewelfd. Wanneer nu echter de spierige rand van het middenrif zich samentrekt, dan zijn de oorsprongspunten dier spieren — wervels, borstbeen en ribben — de vaste punten; van daar uit wordt dus in alle richtingen aan het pezig middenstuk getrokken. De bolvormige welving van het middenrif wordt daardoor vlakker, het daalt naar beneden en zoodoende wordt de borstholte langer.

Fig. 34.



Schema voor de beweging van het middenrif De doorgetrokken lijnen duiden den stand van uitademing aan, de gestippelde die van inademing.

De spieren, die de vergrooting der borstkas in dwarse richting bewerken, zijn die, welke de ribben omhoog trekken; zij ontspringen van de wervelkolom, en loopen schuin naar voren en beneden, om zich aan de ribben, die zij voorzien, te bevestigen. Er zijn verscheidene van die rib-opheffende spieren; doch het nagaan van hun verloop valt hier buiten ons bestek. Alleen zij nog opgemerkt, dat niet alleen van de wervelkolom spieren naar de ribben loopen, maar ook van het schouderblad en den bovenarm.

Deze laatsten, ofschoon zeer krachtige spieren, komen echter bij de ademhaling niet als rib-opheffers in het spel, het zijn geene eigenlijke ademhalingsspieren. Ze

kunnen dat ook niet zijn, omdat in den gewonen toestand het schouderblad en de bovenarm bewegelijker zijn dan de ribben en dus moeielijk een vast punt kunnen vormen, van waar uit de ribben omhoog getrokken worden. Alleen dan is dat mogelijk, als schouder en bovenarm vooraf zijn vastgezet. Bij de gewone ademhaling zien wij zoo iets niet, dan kunnen de rib-opheffers van de wervelkolom het werk wel af. Maar wanneer de ademhaling zeer bemoeielijkt is, dan moeten er buitengewone spieren worden te hulp geroepen, en dan komen de schouder- en armspieren in het spel. Wij zien dat bij zoo menige "benauwdheid". De arme lijder tracht zich, om zijn bemoeielijkte ademhaling toch zoo goed mogelijk te volbrengen, met de handen aan alles vast te grijpen wat hem een steunpunt kan aanbieden, om daardoor zijn schouders vast te zetten en van daar uit zijn ribben met meer kracht te kunnen optrekken.

Door het optrekken der ribben en het neertrekken van het middenrif wordt dus de borstholte vergroot, en heeft er toestrooming van lucht in de longen, d. i. inademing, plaats. Beide bewegingen geschieden gelijktijdig, maar niet altijd dragen beide evenveel tot de inademing bij. Met name is het opgemerkt, dat in dit opzicht bij de gewone ademhaling tusschen man en vrouw een merkbaar verschil optreedt. Bij den man heeft de inademing grootendeels plaats door het neertrekken van het middenrif; de man ademt voornamelijk met zijn middenrif en minder met zijn ribben. Wij zien dan ook bij de gewone rustige ademhaling de borst bij hem slechts weinig op- en neergaan, terwijl daarentegen de buikwand zeer merkbare bewegingen maakt. Want bij elk omlaag gaan van het middenrif worden de buik-ingewanden eenigszins gedrukt en daardoor de voorwand van den buik eenigszins naar voren gewelfd. Bij het omhoog gaan van het middenrif wordt die welving weer iets vlakker, omdat de buikholte dan ruimer wordt.

Bij de vrouw geschiedt de vergrooting van de borstholte voornamelijk door het optrekken van de ribben, vandaar dat bij de vrouw de bewegingen van de borst veel sterker uitkomen. Een verliefd dichter zal zeer terecht de zachte boezemgolvingen van zijn slapende geliefde bezingen, maar niemand zal het ooit in zijn hoofd krijgen dergelijke borstbewegingen van een slapenden man te beschrijven, omdat ze bij hem, althans in den gewonen toestand, veel minder merkbaar zijn. De inademing met het middenrif gaat niet altijd even ge-

makkelijk, omdat die spier in hare bewegingen soms een' meer dan gewonen weêrstand ondervindt. Immers wanneer het middenrif naar beneden gaat, dan wordt de borstholte wel grooter, maar de buikholte even zooveel kleiner. De buik-ingewanden worden dus gedrukt. En hoe sterker nu die ingewanden gevuld zijn, des te meer zullen ze aan de beweging van het middenrif weerstand bieden. Van daar dat we na een rijkelijken maaltijd meestal niet ruim en diep kunnen ademhalen, maar ons daarin eenigszins belemmerd gevoelen; want de vrije bewegelijkheid van het middenrif wordt door onze volle maag, die vlak onder het middenrif ligt, tamelijk gehinderd. Dit is ook mede een van de redenen (er zijn er meer) waarom we met een volle maag niet zeer geschikt zijn tot sterke spier-inspanning, omdat wij de diepe ademhalingen, die daarbij noodig zijn, dan niet behoorlijk kunnen volbrengen.

Wij hebben tot nu toe alleen over de inademing gesproken. De vraag doet zich nu op: hoe komt uitademing tot stand? Het ligt voor de hand dat daarbij eene verkleining van de borstholte moet plaats hebben, daardoor eene samenvalling van de longen en daardoor eene uitpersing van de lucht. Actieve spierwerking komt echter bij deze beweging gewoonlijk niet in het spel. En dat behoeft ook niet, zooals uit eene eenvoudige overweging blijken zal.

Bij de inademing toch worden de ribben uit hun rustenden toestand, waarin ze schuin naar beneden gericht zijn, omhoog getrokken, zoodat ze meer horizontaal komen te staan. Zoodra nu die spierwerking ophoudt, zakken de ribben natuurlijk door hun eigen zwaarte in hun' vorigen stand weder terug, zoodat de vergroote borstkas dan weer verkleind wordt.

Evenzoo gaat het met het middenrif. Bij de samentrekking van die spier worden de buik-ingewanden gedrukt, en zoodra nu die samendrukking ophoudt, wordt het verslapte middenrif door de drukking der buik-ingewanden weer omhoog gewelfd, zoodat dan ook weer daardoor de borstkas kleinere afmetingen krijgt. Bij die verkleining nu kunnen de elastische longen zich samentrekken, en daardoor een gedeelte van de lucht, die er in bevat is, uitpersen.

Terwijl dus bij de inademing actieve spierwerking wordt vereischt, heeft bij de uitademing een passieve terugkeer tot den rustenden toestand plaats, waarbij de elasticiteit van de longen de eigenlijke

beweegkracht is die de lucht uitdrijft. De toestand van rust van de borstkas is die van uitademing, en dezen stand zullen al de daartoe behoorende deelen aannemen, wanneer de spieren die er op werken verslappen. Dat is ook het geval bij den dood, wanneer alle spieren van het gansche lichaam hunne werkzaamheid staken. Vandaar dat de spreekwijze "den laatsten adem uitblazen" physiologisch een zeer juiste is. De laatste beweging die de borstkas maakt zal altijd eene uitademingsbeweging zijn, omdat het de beweging is die met noodzakelijkheid moet volgen op de laatste inademing.

In- en uitademing wisselen elkaâr onophoudelijk af. Zoodra de spierwerking die de borstkas in den inademingsstand gebracht heeft, ophoudt, volgt onmiddellijk de uitademing, d. i. de passieve terugkeer tot den rustenden toestand. Daarop volgt dikwijls een korte pauze, voordat er weer een nieuwe inademing begint. Doch niet zelden ook ontbreekt die pauze geheel, zoodat de inademing terstond op de uitademing volgt. Inademing, uitademing, pauze, zijn dus de op elkaâr volgende phasen van een ademhaling.

Hoeveel van die ademhalingen hebben er nu in een zekeren tijd plaats? Dat is zeer verschillend, bij den een is die frequentie, ook in geheel gezonden toestand, veel grooter dan bij den ander. Gemiddeld kan men zeggen dat een volwassene omstreeks vijftien ademhalingen per minuut doet, doch van dat gemiddeld getal kunnen groote afwijkingen voorkomen. En het is ook waarlijk zoo gemakkelijk niet om ons van de frequentie van onze eigene ademhalingen behoorlijk rekenschap te geven. Dat schijnt vreemd; wij hebben daarbij toch niets anders te doen dan onze eigen ademhaling gedurende een zekeren tijd te tellen. Maar wie de proef neemt, zal terstond bemerken, dat dat gemakkelijker gezegd is dan gedaan; want zoodra wij op onze eigen ademhaling beginnen te letten, wordt ze terstond onregelmatig. Gedurende de eerste minuut zullen we b.v. 10 ademhalingen tellen en gedurende de tweede 20, terwijl wij daarbij zeer goed kunnen bemerken dat de afzonderlijke ademhalingen zeer ongelijk van duur en van diepte zijn.

Onze attentie op de ademhaling brengt die verrichting terstond in de war, omdat we dan, ook zonder het zelf te bedoelen, onzen wil een

zekeren invloed op die bewegingen laten uitoefenen. Men zou bijna kunnen zeggen: er zijn van die verrichtingen in ons lichaam, waarmeê we ons maar niet te veel moeten bemoeien en die we het best doen haar eigen gang te laten gaan.

Hoe jonger het individu is des te grooter is de frequentie van ademhaling; een zeer jong kind ademt omstreeks 40 maal per minuut. Wij zien hier dus hetzelfde als hetgeen we vroeger bij de hartbeweging hebben opgemerkt, die ook bij kinderen veel frequenter is dan bij volwassenen. Over het algemeen gaat de frequentie van hartslag en ademhaling doorgaans gelijk op en neer; invloeden die de eene doen toenemen, werken ook op de andere op dezelfde wijze: zoo b.v. zal eene verhoogde temperatuur, die het hart snel doet kloppen, ook de ademhaling zeer versnellen; de gejaagde ademhaling van den koortslijder is evenzeer een symptoom van zijn toestand als zijn frequente pols. Sterke spierinspanning doet niet alleen ons hart snel en sterk kloppen, maar maakt ook onze ademhaling frequenter en krachtiger. Na forschen spierarbeid klopt ons niet alleen het hart voelbaar in de borst, maar ook onze ademhaling is ongewoon krachtig geworden, wij hijgen van inspanning.

Dat laatste voorbeeld wijst er reeds op dat, evenals de frequentie, ook de d i e p t e der ademhaling zeer uiteen kan loopen. Nu eens ademen we oppervlakkig, onze borstkas en onze longen maken slechts geringe bewegingen en de hoeveelheid lucht die bij elke ademhaling verplaatst wordt, is niet groot. Dan weder, onder andere omstandigheden, ademen we dieper; de long zet zich sterker uit, neemt een grooter volume lucht op en stoot bij de uitademing een grooter volume uit; de hoeveelheid verplaatste lucht neemt toe.

De ademhalingsdiepte heeft echter bij elk individu een bepaalde grens; er is een maximum van uitzetting, dat de longen niet kunnen overschrijden. De hoeveelheid lucht, die door de longen bij het bereiken van dat maximum kan worden opgenomen, hangt af van een aantal factoren; de kracht der borstspieren, de bewegelijkheid der ribben, de elasticiteit van het longweefsel, enz.

Het springt in het oog, dat het voor een gegeven lichaam met betrekking tot zijn stofwisseling niet onverschillig kan zijn, of de heeveelheid adembare lucht groot of klein is, m. a. w. of de uitzetting der longen al of niet een hoogen graad kan bereiken. Daarom

is het niet zonder belang een maatstaf te hebben, waarmede wij de mogelijke diepte van ademhaling kunnen meten.

Bij die meting gaat men uit van de volgende beginselen. Hoe dieper de ademhaling is, des te meer lucht wordt daarbij in de longen opgenomen. En natuurlijk kan er dan bij de daarop volgende uitademing een des te grooter volume lucht worden uitgeblazen. Nu kan men veel gemakkelijker de uitgeademde lucht meten dan de ingeademde, en daarom komt de bepaling van ademhalingsdiepte hierop neer: dat men de hoeveelheid lucht meet die, na een zoo diep mogelijke inademing, kan worden uitgeademd. Men heeft daarin wel is waar niet de geheele hoeveelheid lucht die in de longen bij haar maximum van uitzetting bevat kan zijn, want, zooals straks is opgemerkt, kunnen de longen in een ongeschonden borstkas nooit geheel samenvallen en de daarin bevatte lucht nooit volledig ontlasten. Maar het is ons hier niet te doen om de absolute capaciteit van de long, maar alleen om de zoogenaamde vitale capaciteit te kennen, d. w. z. die hoeveelheid lucht, die bij een ademhaling door de levende long in- of uitgeademd kan worden. Tot het meten nu van die vitale capaciteit dient de zoogenaamde spirometer, door den Engelschman HUTCHINSON het eerst in praktijk gebracht. De toestel bestaat uit een met water gevulden bak van ruim 5 liter inhoud en cylindrisch van vorm. In dien cylinder staat een tweede cylindrische blikken koker, die slechts weinig kleiner is, en van onderen open, van boven gesloten is. Die tweede cylinder wordt in evenwicht gehouden door over katrollen loopende tegenwichten. Wanneer men nu blaast in een buis die in den binnensten cylinder uitkomt, dan zal men daardoor dezen met de uitgeademde lucht vullen en, daar hij door de tegenwichten in evenwicht wordt gehouden, zal hij omhoog stijgen. Hoe meer lucht er in geblazen wordt, des te hoogeren stand zal hij bereiken, en het is nu gemakkelijk naast den kleinen cylinder een peilschaal aan te brengen, waarop men de hoeveelheid lucht die er ingeblazen is, direct kan aflezen. Boven aan den kleinen cylinder is een stop of kraan aangebracht die geopend kan worden als men den kleinen cylinder weer naar beneden drukken wil, om door die opening de daarin opgesloten lucht gelegenheid te geven om te ontsnappen.

Om nu met den spirometer iemands vitale capaciteit te bepalen, laat men hem eerst zoo diep mogelijk inademen. Hij brengt dan zijn lon-

gen tot het maximum van uitzetting en vult ze zoo sterk mogelijk met lucht op. Nu moet hij door de buis van den spirometer uitademen en wel door den mond bij gesloten neus. Hij moet dus eenvoudig door de spirometerbuis zoolang mogelijk lucht uitblazen, zonder daarbij echter weer op nieuw in te ademen. De longen worden daarbij tot haar kleinst mogelijke volume gebracht, zij ontlasten zooveel lucht als ze kunnen. En dat is juist de hoeveelheid lucht, die ze bij eene volgende diepe inademing weer kunnen opnemen. Zoodra nu de uitademing is afgeloopen, leest men op de schaal af, hoeveel lucht daarbij in den kleinen cylinder is geblazen.

Men vindt zoodoende voor de vitale capaciteit bij verschillende personen zeer uiteenloopende cijfers. Bij gezonde volwassen menschen kan de hoeveelheid lucht, die na een diepe inademing kan worden uitgeademd (d. i. de vitale capaciteit) variëeren van $2^1/_2$ tot $4^1/_2$ liter.

Welke waarde hebben nu die getallen? Wat geeft ons de aanwijzing van den spirometer?

Vroeger heeft men die waarde wel eens te hoog geschat; men meende in den spirometer een onfeilbaar hulpmiddel te hebben voor het onderkennen van ziektetoestanden der ademhalings-werktuigen, zoodat een groote vitale capaciteit werd beschouwd als een onbedriegelijke waarborg van een krachtig gezond lichaamsgestel. Toen was de spirometer een onmisbare toestel bij elke keuring van miliciens en op het bureau van elke levensverzekering-maatschappij. Van die overschatting is men sedert, door de ondervinding geleerd, wel eenigszins teruggekomen; doch het zou even verkeerd zijn daarom in een ander uiterste te vervallen, en aan de aanwijzingen van den spirometer alle waarde te ontzeggen. Wanneer men b.v. manschappen zoekt voor een onderneming, waarbij sterke inspanning vereischt wordt, b.v. een bergbeklimming, en men vindt dan iemand van normale lichaamsgestalte, bij wien de spirometer een zeer geringe vitale capaciteit, b.v. van 2 of $2^1/_2$ liter, aanwijst, dan zou het verkeerd zijn zoo iemand op den tocht mede te nemen, omdat men bijna zeker zou kunnen zijn, dat zijn ademhalingsorganen niet met de noodige kracht kunnen werken om hem tot buitengewone inspanning in staat te stellen. En dat bij verschillende ziektetoestanden de aanwijzingen van den spirometer van groot belang kunnen zijn om de

verergering van het ziekteproces of den vooruitgang der genezing te beoordeelen, is ontegenzeggelijk.

Bij onze gewone ademhaling blijven we altijd ver beneden de vitale capaciteit, d. w. z. we verplaatsen niet zooveel lucht als we wel zouden kunnen verplaatsen. Gemiddeld bedraagt de hoeveelheid lucht, die bij een gewone ademhaling wordt in- en uitgeademd, niet meer dan een halve liter.

Wij hebben tot nu toe de ademhaling alleen uit een mechanisch oogpunt beschouwd, ons alleen bezig gehouden met de wijze waarop de verplaatsing van lucht bij in- en uitademing tot stand komt. Doch de chemische zijde van het verschijnsel vereischt niet minder onze aandacht.

Wat gebeurt er in de long?

Om die vraag te beantwoorden, moeten we haar van twee zijden te gelijk aanvatten. Van den eenen kant n.l. neemt de long lucht op en geeft lucht af, en van den anderen kant neemt ze bloed op en laat ook dat weer uitstroomen. De lucht gaat bij hare intrede en bij haar uittreden door dezelfde buis, de luchtpijp. Het bloed daarentegen stroomt in de long uit het rechter hart door de long-slagader, en verlaat de long weer door de long-aderen, om naar het linker hart te gaan. Onze vraag komt dus hierop neer: welke verandering ondergaan die beide stoffen, bloed en lucht, in de long?

Om de verandering van het bloed in de long na te gaan, zouden we het bloed uit het rechter hart (d. i. vóór den doorgang door de long) moeten vergelijken met het bloed uit het linker hart, dat uit de long komt. Daarbij stuiten we echter op groote bezwaren, want de daarvoor noodige operatie, n.l. het blootleggen van het hart, kan niet geschieden zonder de borstkas te openen en daardoor, zooals boven is uiteengezet, de ademhaling belangrijk te storen. Doch we kunnen met een veel geringere, minder ingrijpende operatie volstaan. Wij behoeven n.l. het bloed niet onmiddellijk te nemen uit het rechter of het linker hart, maar het is voldoende een bloedvat op te zoeken, dat bloed naar het rechter hart toevoert, en evenzoo een bloedvat dat bloed uit het linker hart afvoert, en dan uit die bloedvaten het bloed te nemen. Dat kan bij elk dier zeer gemakkelijk gebeuren aan

de voorzijde van den hals. Dicht onder de huid loopt aan de zijde van den hals de groote strotader, het voorname afvoerkanaal, dat het bloed uit het hoofd naar het rechter hart voert. Iets dieper, maar toch eveneens gemakkelijk te vinden, loopt de groote strotslagader, een bloedvat dat onmiddellijk uit de aorta ontspringt, en dus het bloed uit het linker hart uit de eerste hand ontvangt, om het naar het hoofd te voeren.

Stellen we ons voor, dat we beide die bloedvaten, b. v. bij een konijn, hebben blootgelegd. Door de dunne doorschijnende wanden dier vaten zien we reeds, ook zonder dat wij ze openen, dat het bloed wat er in stroomt, zeer verschillend is. De ader ziet er donker uit, blauwachtig zwart, en het bloed in de slagader schijnt helder rood door. En dat de long met dat verschil in kleur iets te maken heeft, blijkt door een eenvoudige proef. Wij knijpen het dier de luchtpijp dicht en maken daardoor de luchtverversching in zijne long onmogelijk. En nu duurt het slechts weinige seconden of het bloed in de slagader is eveneens donker geworden, het is niet meer helder rood en de slagader schijnt blauwachtig zwart door, evenals de ader. Doch zoodra we de luchtpijp weer loslaten en daarmeê de ademhaling weer herstellen, is terstond het verschil weer aanwezig, en het bloed in de slagader wordt weer helder rood.

Nog beter komt dat verschil uit, als we de bloedvaten openen en er eenig bloed uit laten vloeien. Het aderlijke bloed is donker rood, bij zwart af, het slagaderlijke bloed helder scharlaken rood.

Een nader onderzoek doet ons nog een ander verschil tusschen die beide bloedsoorten kennen. Men kan uit elk bloed een zekere hoeveelheid gas verkrijgen. Over de wijze waarop dat gas verzameld en onderzocht wordt, kunnen wij hier echter niet verder uitweiden. Bij het aderlijk bloed is nu het verkregen gasmengsel van een andere samenstelling dan bij het slagaderlijke, en wel zoo, dat in het aderlijke bloed het koolzuurgehalte grooter, het zuurstofgehalte kleiner is dan in het slagaderlijke.

In het kort zou zich dus de zaak zoo laten uitdrukken: het aderlijk bloed dat uit de verschillende weefsels van het lichaam komt en nog niet door de longen gegaan is, is donker rood en bevat betrekkelijk weinig zuurstof en veel koolzuur. Het slagaderlijke bloed, dat uit de longen komt, is helder rood en bevat betrekkelijk veel zuurstof en weinig koolzuur.

Men zou daaruit dus moeten opmaken dat het bloed, bij zijn doorgang door de longen, koolzuur verliest en zuurstof opneemt.

Welken invloed oefent nu de long uit op de lucht die er in opgenomen wordt? Klaarblijkelijk moeten we, ter beantwoording dier vraag, de samenstelling van de ingeademde lucht vergelijken met die der uitgeademde.

De lucht die ingeademd wordt is de gewone dampkringslucht; hare samenstelling is, zooals ieder weet, zeer standvastig; zij bevat 20,8 percent zuurstof, 79,15 percent stikstof en 0,05 percent koolzuur. Bovendien een zeer veranderlijke hoeveelheid waterdamp, zoodat deze getallen de samenstelling der droge, van water bevrijde lucht uitdrukken.

Geheel anders is de samenstelling der uitgeademde lucht. Gemiddeld bevat deze (insgelijks van water bevrijd) 16 percent zuurstof, 79,6 percent stikstof en 4,4 percent koolzuur. Wat het watergehalte betreft, dit is niet, zooals bij de ingeademde lucht, zeer veranderlijk, maar vrij standvastig, daar ze gewoonlijk met waterdamp verzadigd is, d. w. z. zooveel waterdamp bevat, als ze bij hare temperatuur (37°) bevatten kan. De ingeademde lucht heeft altijd een veel lagere temperatuur dan 37° en bevat dus, ook al is ze verzadigd (wat lang niet altijd het geval is), een veel geringere absolute hoeveelheid waterdamp. Dat de uitademingslucht met waterdamp verzadigd is, blijkt uit de zeer eenvoudige proef, waarbij men een koud voorwerp met vocht doet beslaan door er tegen te ademen. Zoodra de uitgeademde lucht, door de aanraking met het koude voorwerp, beneden 37° wordt afgekoeld, wordt een gedeelte van haar waterdamp tot vloeistof verdicht en zet zich op het koude lichaam af. Het verschil tusschen in- en uitgeademde lucht komt dus neer op het volgende: de uitgeademde lucht bevat minder zuurstof, meer koolzuur en meer waterdamp dan de ingeademde. En hieruit mag men opmaken: bij haar oponthoud in de longen verliest de lucht zuurstof en neemt koolzuur en waterdamp op.

Dat zijn de beide feiten waarvan we moeten uitgaan, de verandering die de lucht aan den eenen kant, het bloed aan den anderen kant in de long ondergaat. Het ligt nu voor de hand, die beide feiten, die tot nog toe los naast elkaâr staan, te verbinden door deze conclusie: de ingeademde dampkringslucht geeft in de longen aan

het bloed zuurstof af en neemt er koolzuur en waterdamp uit op.

We moeten die gevolgtrekking nog wat nader uiteenzetten en daaraan eene bevredigende theorie van de ademhaling trachten vast te knoopen.

Ieder kent wel het bekende zout, de dubbel koolzure soda. Het is een bestanddeel van het bekende bruispoeder, en eveneens wordt het verkocht (ver boven de waarde) onder den naam van Bullrich's zuiverings-zout. Dat zout, waarvan de wetenschappelijke naam natriumbicarbonaat is, is in water gemakkelijk oplosbaar. Doch wanneer zulk een oplossing een tijdlang aan de lucht is blootgesteld, verliest ze langzamerhand de helft van het koolzuur, dat er in bevat is, en gaat over in enkel koolzure soda (gewone soda), natriumcarbonaat. Klaarblijkelijk is de eene helft van het koolzuur minder innig gebonden dan de andere helft, zoodat ze zich gemakkelijker uit de verbinding losmaakt. Op dat ontwijken van het koolzuur nu hebben voornamelijk twee omstandigheden invloed. Vooreerst de temperatuur van de vloeistof. Hoe hooger die is, des te spoediger ontwijkt het koolzuur; bij de kookhitte reeds binnen zeer korten tijd. Ten anderen de spanning van het koolzuur boven de vloeistof. Wanneer men nl. de zoutoplossing in een gesloten ruimte brengt, dan zal in het eerst het koolzuur wel ontwijken, maar, daar het zich in de gesloten ruimte moet ophoopen, zal er spoedig een tijdstip komen, waarbij de spanning van het koolzuur boven de vloeistof zoo groot is geworden, dat het verder ontwijken van koolzuur hierdoor belemmerd wordt. Wordt daarentegen het koolzuur uit de ruimte boven de vloeistof voortdurend weggenomen, dan zal de spanning van dat gas niet zoo hoog kunnen stijgen en het ontwijken van koolzuur zal steeds voortgaan. Uit een oplossing dus van natriumbicarbonaat zal koolzuur ontwijken, wanneer die oplossing in aanraking is met een ruimte, waarin een geringe koolzuur-spanning heerscht. Omgekeerd zal een oplossing van natriumcarbonaat (enkel koolzure soda) koolzuur opnemen uit een ruimte, waarin dat gas een zekere spanning bezit.

Nu is het koolzuur in het aderlijke bloed grootendeels aanwezig in den vorm van dubbel koolzure soda, en dat zout zal koolzuur afstaan, zoodra het in aanraking komt met een ruimte waarin de

koolzuurspanning geringer is dan die in het aderlijke bloed. Dat nu is in de long het geval. Proeven hebben doen zien dat de spanning van het koolzuur in het aderlijke bloed, d. i. het streven waarmede dat gas het bloed tracht te verlaten, grooter is dan de koolzuur-spanning in de lucht van de long, zoodat dus in de long aan het uit het bloed ontwijkende koolzuur een onvoldoende weerstand wordt geboden en zoodoende dat ontwijken mogelijk gemaakt.

Het bloed dat in de longen stroomt kan dus aan de ingeademde lucht alleen dan koolzuur afgeven, wanneer de spanning van dat gas in die lucht slechts gering is. Zoodra de hoeveelheid koolzuur in de longenlucht, en daarmede de spanning van dat gas toeneemt, zal het ontwijken van koolzuur uit het bloed belemmerd worden. Dat is o. a. het geval bij onvoldoende luchtverversching in de long. Wanneer de longenlucht, die met koolzuur uit het bloed beladen is, niet telkens weer door versche buitenlucht wordt vervangen, dan zal ze al meer en meer koolzuur uit het bloed opnemen, totdat eindelijk de koolzuurspanning in de long de spanning van dat gas in het bloed evenaart of overtreft. Daarmede houdt het ontwijken van koolzuur uit het bloed op. En daar nu het bloed in elk weefsel meer of minder van dit gas opneemt, zal het koolzuurgehalte van het bloed spoedig zoozeer stijgen dat het schadelijk werkt.

Het afgeven van koolzuur uit het bloed is echter slechts de eene zijde der ademhaling; de andere niet minder gewichtige is de opneming van zuurstof. Ook hierbij hebben we te doen met een dergelijk verschijnsel als zooeven ten aanzien van de dubbel koolzure soda besproken is. De koolzure soda kan uit een koolzuurrijke omgeving nog een zekere hoeveelheid koolzuur opnemen en wordt daardoor tot bicarbonaat. Maar dat bijgekomen koolzuur is zoo weinig vast gebonden, dat het reeds ontwijkt zoodra het bicarbonaat in een koolzuurarme omgeving komt, waar een geringe koolzuurspanning heerscht.

Er bestaat nu in het bloed nog een andere stof, die zich ten opzichte van de zuurstof evenzoo gedraagt als het natrium carbonaat ten opzichte van het koolzuur. Die stof is de roode bloedkleurstof, de hæmoglobine, die wij als bestanddeel der roode bloedcelen reeds vroeger hebben leeren kennen. De hæmoglobine is in water met een donkerroode kleur oplosbaar. Doch zij neemt uit een zuurstofrijke lucht zeer gemakkelijk zuurstof op en wordt oxy-hæmoglobine, dat

in water met een helderroode kleur oplost. De zuurstof van het oxy-hæmoglobine is echter niet zeer innig gebonden, want ze ontwijkt reeds zoodra de spanning van de zuurstof in de omgeving gering wordt, d. i. zoodra het oxy-hæmoglobine in een zuurstof-arme omgeving komt.

Wat nu in het bloed plaats heeft is het volgende: Het aderlijke bloed dat in de longen komt stroomen, bevat donkerroode hæmoglobine en bovendien natriumbicarbonaat, benevens natuurlijk nog een menigte andere bestanddeelen. Dat bloed vindt in de longen de zuurstof van de ingeademde lucht, en daarmede zal de hæmoglobine zich verbinden tot helderroode oxy-hæmoglobine. Tevens zal, tengevolge van de geringe koolzuurspanning in de longen, een gedeelte van het koolzuur uit het natriumbicarbonaat ontwijken, dat daardoor overgaat in natriumcarbonaat. Het slagaderlijke bloed dat uit de longen naar het hart stroomt, bevat dus oxy-hæmoglobine en natriumcarbonaat. Nu wordt het naar de weefsels gevoerd en stroomt door de verschillende haarvaatnetten van het lichaam. De onmiddellijke omgeving van die haarvaten is zeer arm aan zuurstof en rijk aan koolzuur, want alle zuurstof die er aanwezig mocht zijn, wordt terstond voor oxydatie verbruikt, en een van de producten van die oxydatie is koolzuur. In die zuurstof-arme omgeving kan de oxy-hæmoglobine als zoodanig niet bestaan blijven, zij verliest hare los gebonden zuurstof (die dan in de weefsels terstond voor oxydatie wordt verbruikt) en gaat over in donkerroode hæmoglobine. Daarentegen zal het natrium carbonaat in de haarvaten koolzuur uit de koolzuurrijke omgeving opnemen en tot bicarbonaat worden. Zoodoende is het bloed bij het verlaten der haarvaten weer aderlijk geworden; het wordt door de aderen naar het hart en van daar naar de longen gevoerd, om daar het opgenomen koolzuur aan de longenlucht af te geven en daaruit weer zuurstof op te nemen.

Onophoudelijk moet die afwisselende omzetting van aderlijk in slagaderlijk bloed in de longen en van slagaderlijk in aderlijk bloed in de weefsels plaats hebben; de onmisbare toevoer van zuurstof en de niet minder onmisbare afvoer van koolzuur is daarvan afhankelijk. Elke stoornis in die verrichtingen sleept onvermijdelijk een meer of mindere stoornis der normale levensverschijnselen met zich. En zal die verrichting naar den eisch plaats hebben, dan is de normale

samenstelling der inademingslucht een van de eerste voorwaarden waaraan voldaan moet zijn. Het koolzuurgehalte der ingeademde lucht mag niet te groot, het zuurstofgehalte niet te gering zijn. De werkman die afdaalt in een put of kelder die lang gesloten is geweest, wordt dikwijls het slachtoffer van de verkeerde samenstelling der lucht die hij daar ademt. De zuurstof uit die afgesloten ruimte is langzamerhand geheel of grootendeels verbruikt tot oxydatie van stoffen in den bodem, en het koolzuurgehalte is naar evenredigheid toegenomen.

Doch niet alleen een afwijkende samenstelling der ingeademde lucht, maar ook een afwijkende spanning kan nadeelig werken. Luchtreizigers en bergbeklimmers ademen onder aanmerkelijk geringere drukking dan gewoonlijk. Het gevolg daarvan is het bekende *mal de montagne*, een ziekelijke toestand, die het beklimmen van hooge bergen dikwijls zoo uiterst bezwaarlijk maakt, en die voornamelijk te wijten is aan eene onvoldoende opneming van zuurstof. Want de hæmoglobine van het aderlijk bloed neemt uit die verdunde lucht de zuurstof niet in voldoende mate op, om daarmeê de behoefte van het lichaam aan zuurstof te kunnen bestrijden. En bereikt die luchtverdunning, en daarmede de vermindering van zuurstofspanning, een nog hoogeren graad, dan kunnen de gevolgen zelfs doodelijk zijn, zooals nog onlangs gebleken is bij den dood van de ongelukkige luchtreizigers SIVEL en CROCÉ-SPINELLI. Dat werkelijk in zulke gevallen de onvoldoende opneming van zuurstof als oorzaak van den dood moet beschouwd worden, blijkt uit de merkwaardige onderzoekingen van den franschen physioloog BERT, die aantoonde dat de stoornissen door het inademen van verdunde lucht veroorzaakt, geheel verdwijnen, zoodra men zuurstof van behoorlijke spanning inademt. SIVEL en SPINELLI zouden hoogstwaarschijnlijk niet bezweken zijn, wanneer ze niet hun aspirator met zuurstof ter kwader ure over boord hadden geworpen.

Een sterk vermeerderde spanning der ingeademde lucht werkt eveneens schadelijk. Hierbij kunnen twee oorzaken in het spel zijn, eensdeels een belemmerd ontwijken van koolzuur, waardoor koolzuurophooping in het lichaam ontstaat; anderdeels een vermeerderde opneming van zuurstof. Want uit de proeven van BERT is gebleken, dat onder den invloed van hooge drukking het bloed een meer dan

gewone hoeveelheid zuurstof opneemt, en dat onder die omstandigheden de zuurstof wel degelijk als vergif kan werken. Men kan alzoo ook in dit opzicht alweer "des Guten zu viel thun". Verrassend is het zeker op den eersten aanblik dat een stof, zoo noodzakelijk als zuurstof, schadelijk kan werken. Doch er zouden meer voorbeelden bij te brengen zijn van stoffen, waarvan een zekere hoeveelheid onmisbaar is voor het leven; terwijl zoowel vermeerdering als vermindering van die hoeveelheid de normale levensverrichtingen stoort.

In den laatsten tijd is men begonnen inademingen van verdunde of van samengeperste lucht als geneesmiddel aan te wenden bij verschillende ziekte-toestanden der ademhalingsorganen. Daarbij gebruikt men echter slechts geringe graden van verdunning of samenpersing. Het ligt hier niet op onzen weg, de werkingen dier inademingen in bijzondere gevallen na te gaan. Dat echter de ademhaling daardoor belangrijk gewijzigd kan worden, is gemakkelijk in te zien. Wordt de samengeperste lucht ingeademd, dan zal onder den invloed van die hoogere spanning de long zich sterker dan anders uitzetten. Daardoor wordt de inwendige oppervlakte van de long grooter, en de oppervlakte waarover het bloed met lucht in aanraking is, neemt daardoor tevens toe, en dit zal natuurlijk ten gevolge hebben, dat de gaswisseling tusschen bloed en lucht sterker wordt.

Wij hebben gezien welke bewegingen bij de ademhaling gemaakt worden en wat er tengevolge van die bewegingen met het bloed in de longen gebeurt. Doch de vraag rijst nu als van zelf: Waarom maken wij die bewegingen? Welke is de oorzaak daarvan? Eene korte schets van hetgeen er op die vragen te antwoorden valt, moge hier nog hare plaats vinden.

Willekeurig zijn de ademhalingsbewegingen niet; dat blijkt al terstond uit het feit, dat ze in den slaap en in bewusteloozen toestand, waarbij de invloed van den wil geheel is opgeheven, ongestoord voortgaan. Wel is waar laten zich de spieren, die bij de ademhaling in het spel komen, ook door den wil beheerschen, en zoodoende kunnen we, tot op zekere hoogte, onze ademhaling willekeurig wijzigen; we kunnen snel of langzaam, diep of oppervlakkig, ademen. Maar zeer spoedig wordt dat willekeurig ademhalen uitermate vermoeiend, en al

ras laten we het beheerschen der ademhalingsbewegingen, dat ons te moeielijk valt, gaarne over aan de onbewuste oorzaak die in ons werkt.

Welke is die onbewuste oorzaak, die de ademhaling ook buiten toedoen van onzen wil bestuurt?

Bij de ademhaling zijn spieren werkzaam die de ribben opheffen, het middenrif omlaag trekken, enz. Overal nu waar spieren werken, zullen we, zooals vroeger is opgemerkt, het eerst te zoeken hebben naar zenuwen, die den prikkel tot beweging op de spier overbrengen. Werkelijk laten zich ook voor de ademhalingsspieren zulke zenuwen aantoonen. Aan de zijde van den hals loopt onder anderen een zenuw naar beneden in de borstholte, die in het middenrif eindigt en wiens prikkeling beweging van die spier tengevolge heeft. In sommige gevallen, waar de ademhaling tengevolge van bedwelming of verstikking is opgehouden, tracht men wel eens door kunstmatige prikkeling van die zenuw het middenrif in beweging en daarmede de ademhaling weer aan den gang te brengen. En zoo heeft ook elke andere ademhalingsspier hare bepaalde zenuwen.

Een ademhaling is een zeer samengestelde beweging, waarbij een groot aantal spieren gelijktijdig zich moeten samentrekken. Dat wijst er op, dat zulk een beweging beheerscht moet worden van een *centrum* uit, d. w. z. dat er een plaats moet bestaan in het zenuwstelsel, van waar een prikkel zich gelijktijdig kan uitstorten in alle zenuwen, die op de daarbij in werking komende spieren influenceeren.

Dat centrum voor de ademhaling is reeds lang gevonden. Omstreeks vijftig jaar geleden vond de fransche physioloog FLOURENS, dat men bij zoogdieren en vogels onmiddellijk den dood kon veroorzaken door een bepaalde niet zeer uitgebreide plaats van het verlengde merg te kwetsen. Het verlengde merg is, zooals reeds vroeger is opgemerkt, dat gedeelte van het centraal zenuwstelsel, dat tusschen het ruggemerg en de hersenen ligt. Het vormt als het ware het bovenste verdikte uiteinde van het ruggemerg. Aan de achtervlakte van dat verlengde merg bevindt zich een ruitvormige groeve, die door de kleine hersenen bedekt wordt, zoodat er een eenigermate gesloten holte ontstaat, die den naam draagt van de vierde hersenholte (er liggen n.l. in de groote hersenen nog drie andere hersenholten). Aan het benedenste einde van die vierde hersenkamer nu bevindt zich de plaats van waar uit de ademhaling wordt beheerscht. Zoodra die plaats

verwoest wordt, b. v. door kwetsing met een scherp werktuig, is er geene zelfstandige ademhaling meer mogelijk, het dier stikt onmiddellijk en valt dood neêr. Wegens dien plotselingen dood noemde FLOURENS die plaats levensknoop, levenspunt (noeud vital, point vital).

Diezelfde proef van FLOURENS wordt nog dikwijls uitgevoerd, al is het dan ook niet met een physiologisch doel, waar men een dier snel wil dooden. Zoo b.v. bestaat de gewone wijze om een konijn snel te dooden, hierin, dat men het dier een slag achter de ooren geeft. Een kip of duif kan men dooden door een bakerspeld tusschen het achterhoofd en den eersten halswervel in het verlengde merg te steken. Het sedert kort hier ingevoerde slachtmasker voor vee is eveneens een toestel, waarbij, door het inslaan van een pen in het verlengde merg, het dier onmiddellijk gedood wordt. In al die gevallen is de voorname oorzaak van den dood te zoeken in een verwoesting van het centrum voor de ademhaling.

Zooals wij vroeger hebben gezien, bestaat een centrum uit zenuwcellen, met welke cellen zenuwvezels in verband staan. Wij hebben ons nu in dit geval de zaak zoo voor te stellen, dat de zenuwen, die in het middenrif en de andere ademhalingsspieren eindigen, met hun andere eind in het point vital van FLOURENS uitloopen en daar in verbinding komen met zenuwcellen. Wanneer nu in die zenuwcellen een prikkel ontstaat, dan zal die zich langs de verschillende zenuwen kunnen verbreiden, en zoodoende aanleiding geven tot samentrekking der ademhalingsspieren. Doch nu doet zich de vraag op, hoe ontstaat die prikkel in de zenuwcellen van het point vital?

Wanneer van een zenuwcel een zekere prikkel uitgaat, dan kan de oorzaak van dien prikkel tweeërlei zijn. Veronderstelt n.l. een zenuwcel *a*, van waar een zenuwvezel *b* uitgaat naar de spier *c*. Wanneer nu door *b* een prikkel zich voortplant naar *c*, dan kan die prikkel òf in de cel *a* zelf ontstaan zijn, òf ze kan aan de cel *a* van elders zijn toegevoerd, b.v. door de zenuwvezel *d*. In het eerste geval, als de prikkel in het centrum zelf ontstaan is, spreekt men van automatische werking; in het tweede geval, als het centrum den prikkel van elders heeft ontvangen, spreekt men van reflexwerking.

Om nu in ons geval tusschen automatie en reflex te beslissen,

zullen wij de proef zoo moeten inrichten, dat de mogelijkheid van reflex wordt buitengesloten. Wij kunnen dat doen, door alle zenuwen, die een prikkel naar het centrum kunnen geleiden, d. i. de zoogenaamde gevoelszenuwen, door te snijden, en dus het centrum af te sluiten voor alle van buiten komende prikkels. Doen we dat met betrekking tot het ademhalingscentrum (d. i. in ons schema snijden we de zenuwvezel *d* door), dan blijft de ademhaling bestaan, zoolang namelijk de vezel *b* ongeschonden blijft. Daardoor wordt het bewijs geleverd, dat de prikkel tot ademhaling niet is eene reflectorische, maar eene automatische, d. w. z. dat die prikkel in het centrum zelf ontstaat.

In de zenuwcellen van het point vital ontstaan van tijd tot tijd stoffelijke veranderingen, die, door bemiddeling van de zenuwen naar de ademhalingsspieren overgebracht, een ademhalingsbeweging doen ontstaan. Vragen we nu naar de oorzaak van die stoffelijke verandering, dan ligt in de eerste plaats het vermoeden voor de hand, dat die oorzaak te zoeken is in het bloed. Want wijzigingen in de samenstelling van het bloed zullen op de verrichtingen der cellen, waarmede het bloed in aanraking komt, van grooten invloed moeten zijn. Wanneer zich nu laat aantoonen dat een sterke werkzaamheid van het point vital gepaard gaat met een belangrijke wijziging in de samenstelling van het bloed, dan zal ons vermoeden: dat die verandering in het bloed de oorzaak is van de werkzaamheid van het ademhalingscentrum, een hooge mate van waarschijnlijkheid erlangen.

Vóór alles moet dus het point vital in sterke werkzaamheid gebracht worden, d. w. z. het dier moet in een toestand gebracht worden, waarbij zeer krachtige ademhalingsbewegingen plaats hebben. Zulk een toestand nu laat zich zeer gemakkelijk in het leven roepen, eenvoudig door het dier te bezorgen wat we in het dagelijksch leven "benauwdheid" noemen. Iemand die benauwd is, maakt zijne ademhalingsbewegingen zoo sterk mogelijk, om in de diepgevoelde behoefte aan lucht te voorzien. We maken dus dan de krachtigste ademhalingsbewegingen, wanneer ons de toevoer van versche lucht bemoeielijkt is. Men lette slechts op de enorme inspanning, de krampachtige samentrekkingen der borstspieren bij lijders aan benauwdheid. De wetenschappelijke naam voor zulk een toestand is d y s p n o e, woordelijk

vertaald: moeielijke ademhaling, afgeleid van het grieksche woord *pneo*, ademen, met het voorvoegsel *dus*: moeielijk.

Wij zouden nu een dier eenvoudig in dyspnoe kunnen brengen door de luchtpijp dicht te knijpen. Doch die wijze van proefneming zou in dit geval verkeerd zijn, omdat we daardoor de mechanische werking der ademhalingsorganen abnormaal zouden maken, door de longen van de lucht af te sluiten. Wij moeten in ons geval onbelemmerd laten ademen en toch de toevoer van zuurstof onmogelijk maken. Dat doen we het best door het dier stikstof of waterstof te laten ademen, twee gassen die volstrekt niet vergiftig zijn (immers de gewone lucht bevat ook eene aanzienlijke hoeveelheid stikstof), maar die toch aan dat dier geen zuurstof kunnen leveren, omdat ze dat gas niet bevatten.

Onze proef wordt nu ingericht als volgt: Wij hebben een dier dat normaal en kalm ademt onder geheel gewone omstandigheden. Wij ontnemen dat dier een portie bloed en onderzoeken dat bloed op zijn gehalte aan gas. Wij vinden b.v. dat het bevat 18 pct. zuurstof en 25 pct. koolzuur. Nu laten we het dier zuivere stikstof ademen. Onmiddellijk worden de ademhalingsbewegingen krachtiger, het dier is benauwd, het verkeert in dyspnoe. Wij laten dien toestand slechts zeer kort duren, b.v. eene minuut, en nemen dan weer een portie bloed. Daarin vinden we, bij het onderzoek, weer 25 pct. koolzuur even als zoo straks, maar het zuurstofgehalte is aanzienlijk geringer geworden, en bedraagt niet meer dan 1 à 2 pct. Nu geven we het dier weer lucht te ademen; spoedig worden de krachtige krampachtige ademhalingsbewegingen kalmer, en na weinige oogenblikken is de dyspnoe voorbij en ademt het dier weer rustig. Onderzoeken we nu weer een monster bloed, dan vinden we het gasgehalte weer normaal: 18 pct. zuurstof en 25 pct. koolzuur.

Ons resultaat luidt dus: dyspnoe, een toestand waarbij sterke ademhalingsbewegingen gemaakt worden, waarbij dus in het point vital krachtige prikkels ontstaan, gaat gepaard met eene aanzienlijke vermindering van het zuurstofgehalte in het bloed. Hoe geringer dat zuurstofgehalte wordt, des te krachtiger worden de ademhalingsbewegingen.

Is die laatste stelling waar, dat de ademhalingsbewegingen sterker worden naarmate het zuurstofgehalte van het bloed afneemt, dan

moet ook omgekeerd, door vermeerdering van het zuurstofgehalte van het bloed, eene verzwakking der ademhalingsbewegingen ontstaan. En werkelijk is dit het geval. Wanneer men de longen van een dier gedurende eenigen tijd kunstmatig met lucht oververzadigt, door krachtige en snelle inblazingen van lucht, dan komt het dier in den toestand van apnoe, d. w. z., woordelijk vertaald, ademloosheid, een toestand waarbij geene ademhalingen gemaakt worden. Wanneer eenmaal die toestand daar is, kan men met het inblazen van lucht ophouden, en gedurende eenige oogenblikken blijft het dier dan liggen, zonder eenigerlei adembeweging te maken. De ribben en het middenrif blijven bewegingloos, met één woord er wordt niet geademd.

De verklaring van dat verschijnsel ligt daarin, dat door de overmatig sterke ventilatie van de long het bloed meer dan gewoon met zuurstof verzadigd is. Zulk zuurstofrijk bloed doet geen ademhalingsprikkel in het point vital tot stand komen, en dus hebben er geen adembewegingen plaats. Doch lang duurt zulk een toestand van apnoe niet. Na weinige oogenblikken, hoogstens éene minuut, beginnen de bewegingen van de borstkas op nieuw, en spoedig ademt het dier weer geheel normaal. Want door de stofwisseling is de voorraad zuurstof in het bloed spoedig zóover opgeteerd, dat het bloed weer een ademhalingsprikkel in het point vital doet ontstaan.

Armoede van het bloed aan zuurstof en prikkeling van het ademhalingscentrum zijn dus twee verschijnselen die met elkaar in verband staan. De aard van dat verband is daarmeê echter nog niet opgehelderd, en laat zich trouwens voor het oogenblik ook nog niet nader ophelderen. Wat eigenlijk de zenuwcellen van het point vital prikkelt, weten wij niet. Waarschijnlijk zijn het stoffen, die in het zuurstof-arme bloed aanwezig zijn, en die, bij toeneming van het zuurstofgehalte, geoxydeerd worden.

Wij vinden dus hier weêr een van die bewonderenswaardige zelfreguleerende inrichtingen, zooals we er meer in het organisme aantreffen. De ademhaling, die aan het lichaam zuurstof toevoert, wordt geregeld door de behoefte aan zuurstof zelf. Hoe grooter die behoefte is, hoe krachtiger de adembewegingen zijn en omgekeerd.

Straks hebben we op den voorgrond gesteld, dat een centrum op twee wijzen kan geprikkeld worden, òf automatisch òf reflectorisch. Wij hebben nu gezien, dat bij het ademhalingscentrum de prikkel

langs automatischen weg tot stand komt. Doch dat is nog geen reden om de prikkeling langs reflectorischen weg geheel buiten te sluiten. Het is integendeel zeer wel mogelijk, dat de reflectorische prikkel den automatischen versterkt.

Werkelijk laten zich een aantal reflectorische ademhalingsbewegingen aantoonen. Die allen hier in bijzonderheden te bespreken, zou al te wijdloopige uiteenzettingen vereischen; wij zullen ons met een korte vermelding van de voornaamste verschijnselen moeten vergenoegen.

Vooreerst staat het ademhalingscentrum in verband met de gevoelszenuwen van de long. Prikkeling van die zenuwen bewerkt, door reflex in het point vital, eene adembeweging, die echter verschillend kan zijn al naar den aard van den prikkel. Soms is het eene inademing, soms eene uitademing. Verkleining van de long, zooals ze bij uitademing plaats heeft, heeft reflectorisch eene inademing ten gevolge. Zoo is de uitademing zelf ten deele oorzaak van de volgende inademing.

En wat reflectorische uitademingen betreft, die door prikkeling der longzenuwen teweeggebracht worden, wij vinden ze dikwijls genoeg bij allerlei ziekelijke toestanden van de long. Het onophoudelijke hoesten van den borstlijder is niet anders dan krachtige uitademingsbeweging, veroorzaakt door de abnormale prikkeling der longzenuwen, die in het point vital tot eene reflexbeweging aanleiding geeft.

Ook met andere gedeelten der luchtwegen staat het ademhalingscentrum in reflectorisch verband. Met name is dit het geval met den neus en het strottenhoofd. Als een vliegje ons in den neus opvliegt of een verkoudheid een ziekelijke aandoening van ons neus-slijmvlies bewerkt, dan moeten we niezen. Dat niezen is een reflectorische uitademing. De prikkel op het neus-slijmvlies wordt door sensible zenuwen overgebracht naar het point vital, en bewerkt daar een krachtigen uitademingsprikkel.

Evenzoo heeft prikkeling van het slijmvlies van het strottenhoofd een uitademingsreflex ten gevolge. We hoesten als we iets in de verkeerde keel krijgen, of ten gevolge van ziekelijke aandoeningen van het strottenhoofd. Het krijgen in de verkeerde keel bestaat, zoo als ieder weet, daarin, dat het een of ander niet behoorlijk wordt doorgeslikt, zoodat het, in plaats van door den slokdarm gevoerd te worden, gedeeltelijk met de bovenvlakte van het voor den slokdarm liggende strottenhoofd in aanraking komt.

Eindelijk nog bestaat er verband tusschen het point vital en de uitwendige huid, vooral die van borst en rug. Iemand, die onverwacht koud water over den rug of tegen de borst krijgt, maakt een plotselinge heftige inademingsbeweging. Vandaar ook dat een van de middelen, die men aanwendt om bij schijndooden of bewusteloozen de ademhaling weer aan te wakkeren, daarin bestaat, dat men door sterke huidprikkels reflex in het point vital tracht te bewerken.

Met al hetgeen tot nog toe is opgemerkt omtrent de wijze waarop de prikkeling van het ademhalingscentrum tot stand komt, is echter de periodieke afwisseling, de r h y t h m u s der ademhalingsbewegingen, nog volstrekt niet verklaard. Een in alle opzichten bevredigende verklaring daarvan is ook nog niet te geven; alleen kunnen we eenigermate aanduiden, op welke wijze wij ons het tot stand komen van dien rhythmus kunnen voorstellen. Daartoe moeten wij aannemen, dat de inademingsprikkel in het point vital een' zekeren weerstand te overwinnen heeft, voordat hij zich in de zenuwen kan uitstorten om naar de ademhalingsspieren te worden voortgeplant. Daardoor zal bewerkt worden, dat de prikkel zich niet voortdurend ontlaadt, maar bij tusschenpoozen, stootsgewijze als het ware, n.l. eerst dan wanneer hij door opeenhooping sterk genoeg geworden is om den bestaanden weerstand te kunnen overwinnen. Heeft er dan eene ontlading van den prikkel plaats gehad, dan zal er weer eenigen tijd moeten verloopen, voordat het tot eene nieuwe inademing komt. We maken hier gebruik van eene dergelijke hypothese als we reeds vroeger hebben aangewend bij onze poging ter verklaring van den rhythmus der hartbeweging.

De normale ademhaling is dus in hooge mate afhankelijk van het zenuwstelsel en wel in de eerste plaats van het point vital. De verschillende toestanden van dat centrum, dyspnoe en apnoe, brengen belangrijke wijzigingen in de ademhaling teweeg, terwijl de normale prikkelingstoestand van dat centrum te beschouwen is als eene geringe physiologische graad van dyspnoe, of liever als een voortdurend schommelen tusschen dyspnoe en apnoe, zonder echter een van die beide toestanden ooit te bereiken. Nu is er echter nog een derde toestand van het point vital mogelijk, nl. die waarbij de prikkelbaarheid van het point vital tot op een m i n i m u m gedaald of geheel verdwenen is. Die toestand heet a s p h y x i e, woordelijk vertaald, pols-

loosheid, omdat bij dien toestand zeer spoedig de hartbeweging, en daarmede de pols tevens, ophoudt. Bij asphyxie zijn de zenuwcellen van het point vital bedwelmd, vergiftigd, en loopen dreigend gevaar van een spoedigen onherstelbaren dood. In dien toestand ontstaan er geen ademhalingsbewegingen evenals bij apnoe, maar om een geheel andere reden. Bij apnoe is het point vital normaal, maar het wordt niet geprikkeld. Bij asphyxie daarentegen ontstaan er wel prikkels, maar het point vital is niet normaal, niet prikkelbaar. Zulk een toestand kan het gevolg zijn van allerlei oorzaken, die we allen kunnen samenvatten onder den naam van verstikking, en waarbij de vergiftiging van het point vital òf door al te groot gebrek aan zuurstof, òf door overmaat van koolzuur bewerkt wordt. In de meeste gevallen zijn die beide oorzaken te zamen in het spel. Overal waar de normale ademhaling aanzienlijk gestoord is, komt het vroeg of laat tot asphyxie. Zoo b.v. bij verdrinken, bij verworgen, bij het ademen van gasmengsels, die al te arm zijn aan zuurstof of al te rijk aan koolzuur; bij het ademen van kolendamp (waardoor 't bloed het vermogen verliest om zuurstof op te nemen) enz. enz.

Een onvermijdelijk gevolg van die asphyxie is, dat door het gebrek aan zuurstof de zenuwcellen, die de hartbeweging beheerschen, insgelijks spoedig hunne werkzaamheid staken, daarmede houdt de bloedbeweging op en het leven is spoedig uitgebluscht.

Heeft echter de asphyxie nog niet al te lang bestaan, dan is nog redding mogelijk. Daartoe moeten we vóór alles trachten aan het bloed weer zuurstof toe te voeren, en, daar er geene zelfstandige ademhalingsbewegingen gemaakt worden, schiet er niets anders over dan die kunstmatig te doen plaats hebben. Bij de ademhaling nu komt, zooals we gezien hebben, alles aan op beweging van de borstkas. Bij de inademing moet de borstkas verruimd worden door het optrekken der ribben. De spieren, die dat doen bij de gewone ademhaling, gaan uit, zooals vroeger besproken is, van de wervelkolom, en op de samentrekking van deze kunnen we door kunstmatige middelen weinig invloed uitoefenen. Maar er zijn nog andere spieren, die van de ribben naar den schouder loopen. Deze worden gespannen wanneer de armen tot boven het hoofd omhoog geheven worden. Zoodoende worden bij die beweging de ribben eenigszins omhoog getrokken en zoodoende de borstkas vergroot. Dat bootst de inademing

na. Door de armen omlaag te bewegen en de borstkas samen te drukken, kan men dan de uitademing nabootsen. In die passieve borstbewegingen van den schouder uit, ligt het hoofdmoment voor kunstmatige ademhaling, zooals ze tot het bijbrengen van drenkelingen en gestikten wordt aangewend. Wel is waar moeten daarbij nog een aantal andere zaken in het oog gehouden worden, die wij echter hier ter plaatse, waar het ons om physiologie en niet om geneeskunde te doen is, met stilzwijgen voorbijgaan.

OVER SPIJSVERTERING EN VOEDING.[1]

Wanneer we een levend dierlijk lichaam brengen in een volkomen afgesloten ruimte, en het daarin eenigen tijd laten vertoeven, dan vinden we dat door de aanwezigheid van dat lichaam veranderingen in die ruimte zijn teweeggebracht. De lucht in dat vertrek zal armer aan zuurstof en rijker aan koolzuur zijn geworden, en tevens zal (verondersteld dat alle warmteverlies vermeden is) die lucht een hoogere temperatuur hebben dan bij het begin van de proef. Het lichaam heeft dus zuurstof uit de omgeving opgenomen, koolzuur en warmte daaraan afgegeven. En was er in die ruimte een arbeidstoestel geplaatst, bijv. een machine die door het draaien van een kruk in beweging kon worden gebracht, dan zou zich laten constateeren dat het dierlijk lichaam ook mechanischen arbeid kan verrichten, en dat bij het verrichten van dien arbeid de opneming van zuurstof en afscheiding van koolzuur sterk toeneemt.

Het koolzuur dat we na de proef in de lucht van het vertrek vinden, was er vooraf niet aanwezig; het moet dus uit het dierlijk lichaam gekomen zijn. Heeft nu het dier dat koolzuur vroeger opgenomen, vóór dat het in het vertrek kwam, en gedurende de proef eenvoudig weêr afgegeven? Dat is niet het geval. Ook dan als we er voor zorgen dat een dier op geenerlei wijze koolzuur, in welken vorm dan ook, kan opnemen, toch zullen we steeds een afgeven van koolzuur kunnen

[1] Veel van hetgeen hier (om dit opstel niet tot een ongeëvenredigde lengte te doen uitdijen) slechts kort besproken is, vindt men breedvoeriger uiteengezet in mijn onlangs verschenen boekje "Een en ander over voeding." Groningen. 1876.

constateeren. Het koolzuur moet dus in het lichaam van het dier zelf ontstaan zijn.

Een groot aantal van de bestanddeelen van het dierlijk lichaam zijn koolstofverbindingen. De koolstof uit die verbindingen kan door oxydatie, door zich met zuurstof te verbinden, koolzuur leveren. Nu kunnen we aantoonen dat het dier door de ademhaling onophoudelijk zuurstof in zijn bloed opneemt, die als zoodanig, dat is als vrije zuurstof, het lichaam niet weêr verlaat. De slotsom uit, en de verbindende schakel tusschen al deze feiten, is dus deze: in het dierlijk lichaam worden koolstofverbindingen geoxydeerd, en de gevormde oxydatieproducten (koolzuur en anderen) verlaten het lichaam.

Vroeger meende men dat alle verbruik en omzetting van stof in het dierlijk lichaam op eene dergelijke oxydatie berustte. Het wordt echter hoe langer hoe meer waarschijnlijk, dat bij een groot aantal verschijnselen van stofomzetting in het lichaam geen directe zuurstofopneming plaats heeft, maar alleen een splitsing, een uiteenvallen van samengestelde verbindingen tot enkelvoudige. Een bekend voorbeeld van zulk een splitsing zonder oxydatie, is de gisting van suiker, waarbij de suiker in alcohol en koolzuur uiteenvalt, zonder dat daarbij een opneming van zuurstof plaats heeft.

Hetzij op de eene, hetzij op de andere wijze, voortdurend heeft in het lichaam stofverbruik plaats, en niet als een bijkomend iets, maar als essentieel levensverschijnsel. Het laat zich aantoonen, dat een versterking van de levensverrichtingen gepaard gaat met verhoogd stofverbruik, en dat zoodra het stofverbruik ophoudt, daarmeê het leven een onmogelijkheid wordt.

Daar de producten van het stofverbruik voortdurend verwijderd worden, zou het lichaam spoedig te gronde gaan, wanneer niet onophoudelijk nieuw materiaal werd toegevoerd. Die toevoer van nieuw materiaal voor stofverbruik heet v o e d i n g.

Daar het stofverbruik in alle levende deelen van het lichaam plaats heeft, moeten die voedingsstoffen ook overal kunnen worden heengevoerd. Het vervoer van die stoffen is opgedragen aan het bloed. Maar daar het bloed zich in een gesloten systeem van buizen bevindt, en niet alle voedingsstoffen in een toestand voorkomen, waarin ze in het bloed kunnen worden opgenomen, moeten ze eerst voor die opneming geschikt worden gemaakt, dat is: v e r t e e r d.

De stoffen, die tot onderhoud van het dierlijk lichaam noodig zijn, laten zich tot vijf groepen brengen.

1°. Eiwitstoffen, die allen meer of min overeenkomen met de stof die het hoofdbestanddeel van het hoendereiwit uitmaakt;

2°. Vetten;

3°. Koolhydraten, waartoe onder anderen behooren de verschillende soorten van zetmeel en suiker;

4°. Minerale stoffen, keukenzout, phosphorzure kalk, enz.;

5°. Water.

Dat zijn onze vijf groepen van voedingsstoffen, die echter meestal niet op zich zelf in de natuur voorkomen, maar met elkander en met andere stoffen gemengd tot zoogenaamde voedingsmiddelen.

Vleesch bijv. is een voedingsmiddel, waarin voornamelijk eiwitstoffen en vetten aanwezig zijn, terwijl de koolhydraten daarin zeer op den achtergrond treden; aardappels daarentegen is een voedingsmiddel, waarin de koolhydraten zeer op den voorgrond treden, en de eiwitstoffen en vetten slechts zeer spaarzaam aanwezig zijn.

Het eerste dus wat er met onze spijzen in het lichaam moet gebeuren is, volgens het bovenopgemerkte, vertering. Het orgaan voor die verrichting is het spijskanaal. Bij alle eenigszins hooger ontwikkelde dieren vertoont dat spijskanaal drie voorname punten van overeenstemming. Vooreerst is het aan den ingang voorzien met werktuigen tot grijpen, vasthouden en fijnmalen van het voedsel. Ten anderen heeft het overal den vorm van een lange min of meer gekronkelde buis, en vertoont een of meer verwijdingen, waarin het voedsel langer kan vertoeven. En eindelijk zijn in de omgeving of in den wand van het spijskanaal zelf klieren geplaatst, die sappen bereiden, welke voor de spijsvertering noodzakelijk zijn.

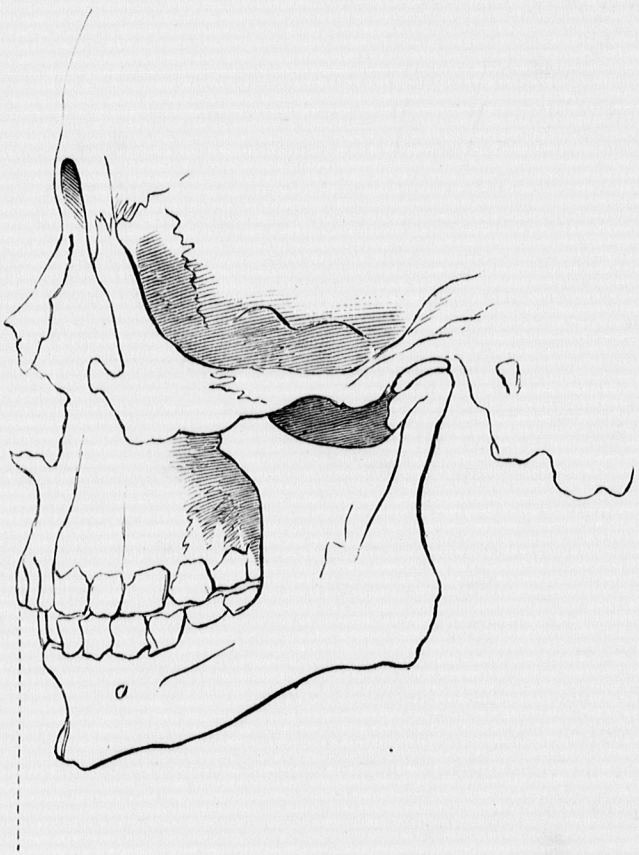
Wij zullen bij onze beschouwing van de spijsvertering ons richten naar de verschillende deelen van het spijskanaal, en deze achtereenvolgens nagaan.

I.

WAT ER IN DE MONDHOLTE GEBEURT.

De eerste bewerking waaraan het voedsel in de mondholte wordt onderworpen is het kauwen. De werktuigen daarvoor zijn de tanden, die ten getale van zestien in elke kaak geplaatst zijn, en, zoo-

Fig. 35.

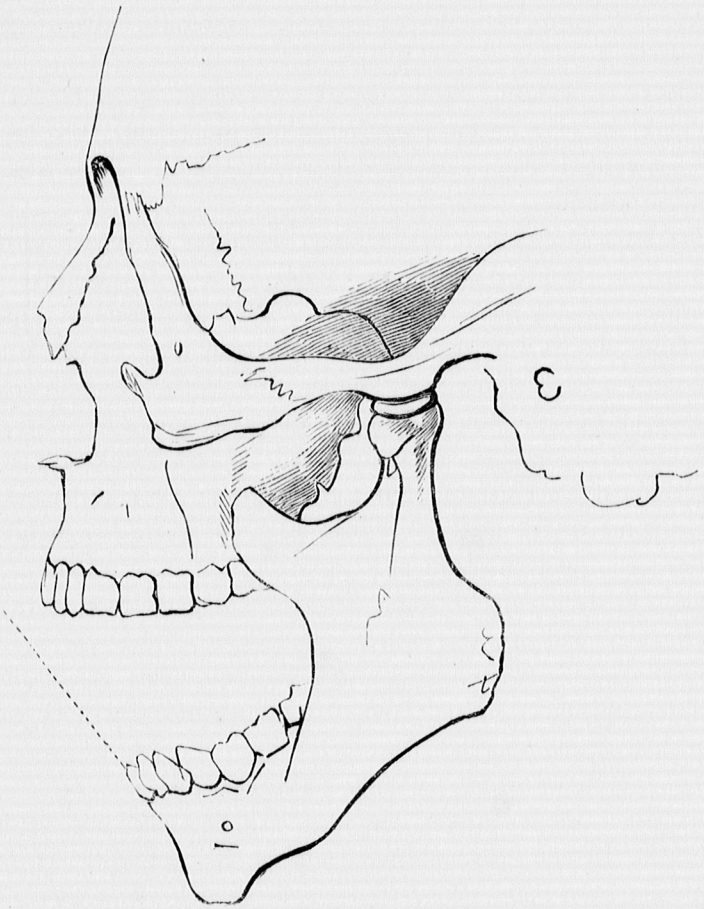


Het gewrichtshoofdje van de onderkaak met de tusschenschijf naar achteren geschoven in de gewrichtsholte van het slaapbeen.

als bekend is, in snij-, hoek- en maaltanden of kiezen worden onderscheiden. Het fijnmalen en verdeelen van het voedsel tusschen de langs elkaar schuivende kanten en punten van deze tanden, wordt

bewerkt door bewegingen van de onderkaak. De bovenkaak is onbewegelijk aan den schedel verbonden, alleen de onderkaak maakt bij het kauwen bewegingen. Deze bewegingen kunnen door de eigenaardige inrichting van het onderkaaksgewricht zeer veelzijdig zijn.

Fig. 36.



De tusschenschijf met de onderkaak naar voren geschoven.

De onderkaak n. l. is geleed met het slaapbeen, aan de ondervlakte waarvan een holte voorkomt, die het gewrichtshoofdje van de onderkaak kan opnemen. Doch dit gewrichtshoofdje is niet onmiddellijk in die holte geplaatst, maar tusschen beide bevindt zich een tusschenschijfje. Dat tusschenschijfje kan tegen de ondervlakte van

het slaapbeen naar voren schuiven en komt daarbij min of meer buiten de eigenlijke gewrichtsholte te liggen, tegen een rond beenuitsteekseltje aan, dat zich voor die holte bevindt. Daardoor wordt de beweging van de onderkaak vrijer, zoodat de mond verder geopend kan worden dan anders het geval zou zijn. En tevens wordt daardoor de eigenlijk malende beweging van de onderkaak mogelijk gemaakt, het heen- en weêr- en voor- en achteruitschuiven tegen de bovenkaak.

Behalve de spieren, die de onderkaak bewegen, spelen bij het kauwen ook de tong en de wangspieren een groote rol. Deze brengen n. l. het voedsel, dat anders ter zijde zou uitwijken, telkens weêr tusschen de kiezen.

Hoe beter het kauwen plaats heeft, hoe fijner de spijzen vermalen worden, des te beter worden ze voorbereid voor de eigenlijke spijsvertering, des te meer wordt deze gemakkelijk gemaakt. Immers hoe fijner de spijzen verdeeld zijn, des te inniger zullen de spijsverteringssappen zich er meê kunnen vermengen. Vandaar dat het onvoldoend kauwen, het doorslikken van al te groote brokken, dikwijls een der oorzaken is van gestoorde of bemoeielijkte spijsvertering, en dat de regel van BRILLAT SAVARIN: "wie korter eet dan een half uur is het eten niet waard", tot op zekere hoogte physiologisch zich laat rechtvaardigen.

Reeds in de mondholte wordt het voedsel aan de werking van een verteringssap onderworpen, n. l. het speeksel. Deze vloeistof is het product van drie paren klieren, die ter weêrszijden van de mondholte gelegen zijn, een onder de tong, een achter den hoek van de onderkaak en een voor het oor.

Wat hebben we onder een klier te verstaan?

Die naam wordt gegeven aan organen, die stoffen uit het bloed afscheiden. In zijn eenvoudigsten vorm is zulk een klier een blaasvormig of buisvormig zakje, waarvan de wand gevormd wordt door een bekleeding van dichtaaneengelegerde cellen, zoogenaamde kliercellen. Dit zijn onregelmatig kubische of cylindrische cellen, meer of minder korrelig van uiterlijk, en met een kern voorzien. De inwendige ruimte, het *lumen* van zulk een zakje, heeft doorgaans slechts een zeer geringe doorsnede. Aan de buitenzijde van de laag kliercellen bevindt zich een net van bloedvaten, en bovendien is elke

klier rijk aan zenuwen. Sommigen van die zenuwen eindigen in den wand der bloedvaten, maken deze wijder of nauwer, en wijzigen zoodoende den toevoer van bloed. Dit zijn de vaatzenuwen van de klier. Andere zenuwen, de eigenlijke klierzenuwen, of secretorische zenuwen, eindigen in de kliercellen zelf, en hebben een directen invloed op de verrichtingen dezer cellen.

Wij hebben ons nu de werking van zulk een klier aldus voor te stellen, dat de kliercellen (opgeloste) stoffen uit het bloed opnemen, deze verwerken en de producten hunner werkzaamheid in het lumen van de klierbuis uitstorten. Elke samengestelde klier bestaat uit een groote menigte van die klierbuisjes of blaasjes, wier inwendige holten in gemeenschappelijke buizen samenkomen, terwijl door vereeniging van al die verzamelbuizen ten slotte een algemeene uitloozingsbuis ontstaat, die het product der klierwerkzaamheid afvoert naar de plaats waar het behoort.

Hetgeen nu door zulk een klier uit het bloed wordt gevormd, ontstaat niet eenvoudig door filtratie, in dien zin dat er stoffen door de kliercel uit het bloed worden opgenomen, waarvan sommigen worden teruggehouden en anderen doorgelaten, maar de kliercel verwerkt de uit het bloed opgenomen stoffen, vormt geheel nieuwe stoffen en ondergaat daarbij zelf verandering. De klier is niet een eenvoudige filtratietoestel, maar een orgaan dat door eigen werkzaamheid nieuwe stoffen uit het bloed vormt. Is dat werkelijk het geval, hebben we hier te doen met een activiteit van de cellen zelf, dan zal, daar elke celwerkzaamheid gepaard gaat met stofomzetting in de cel, een werkzame klier in scheikundige samenstelling moeten verschillen van een rustende. En werkelijk worden er langzamerhand meer en meer feiten bekend, waaruit blijkt dat de kliercellen zelf bij de klierwerkzaamheid veranderingen ondergaan. Het vergelijkend microscopisch onderzoek van rustende en werkzame klieren heeft aangetoond, dat de cellen van een werkzame klier niet alleen in uiterlijk zeer merkbaar verschillen van die eener rustende, maar ook in hunne scheikundige samenstelling daarvan afwijken.

Men zal vragen, hoe het mogelijk is om over de scheikundige samenstelling van cellen in een microscopisch praeparaat te oordeelen? Hier kan natuurlijk, wegens de kleinheid van het voorwerp, van een gewone chemische analyse geen sprake zijn. Men behelpt zich daarom

met zoogenaamde microchemische reacties. Daartoe heeft men bij de onderzoekingen over klierwerkzaamheid hoofdzakelijk gebruik gemaakt van het karmijn, de bekende helderroode kleurstof uit de cochenille. Wanneer men een microscopisch praeparaat met een karmijn-oplossing behandelt, en het gedurende eenigen tijd daarmede in aanraking laat, dan zullen de cellen die rijk aan eiwitstoffen zijn meer karmijn opnemen en zich dus sterker rood kleuren dan andere minder eiwitrijke cellen. Men heeft dus in het karmijn een middel, dat, met de noodige voorzorgen toegepast, ons in staat stelt om over den meer of minderen rijkdom aan eiwit van een cel tot op zekere hoogte te oordeelen. Op deze en andere wijzen is in de laatste jaren aan de speekselklieren, de maagklieren en de alvleeschklier aangetoond, dat bij de klierwerkzaamheid de cellen zelf veranderingen in eiwitgehalte en in andere opzichten ondergaan.

Omdat de speekselklieren gemakkelijker dan andere klieren voor proeven toegankelijk zijn, zijn ze zeer dikwijls onderzocht, en zijn we van de wijze waarop die klieren werken betrekkelijk goed op de hoogte. De meeste proeven zijn gedaan aan de klier die achter den hoek van de onderkaak ligt, de onderkaaksklier. Aan deze vooral is het aangetoond hoezeer de speekselafscheiding onder den invloed van zenuwen staat. Wordt de zenuw die naar de klier gaat geprikkeld, dan ziet men twee verschijnselen: de klier wordt zeer rijk aan bloed, en de afscheiding neemt sterk toe. Dit laatste kan men natuurlijk dan alleen beoordeelen, wanneer men in de uitlozingsbuis van de klier een buisje heeft ingebonden en zoodoende het uitvloeiende speeksel opvangt. Men zou nu deze twee verschijnselen, sterkere bloedtoevoer en sterkere speekselafscheiding, eenvoudig op deze wijze met elkaar in verband kunnen brengen, dat men de vermeerderde afscheiding als een direct gevolg van den vermeerderden bloedtoevoer voorstelde. Men zou kunnen zeggen: de klier krijgt meer bloed, ontvangt daardoor meer materiaal tot speekselvorming, en scheidt dus ook meer speeksel af. Maar men ziet gelijktijdig met den vermeerderden bloedtoevoer ook de speekselafscheiding vermeerderen, en niet eerst eenigen tijd later. Is nu de vermeerderde afscheiding eenvoudig het gevolg van den vermeerderden bloedtoevoer, dan zou zich moeielijk laten begrijpen, waarom zij reeds zoo spoedig optrad, men zou dan al een zeer snelle vorming van speeksel uit het bloed moeten aannemen.

Nu zou het wel is waar niet zoo geheel onmogelijk zijn, dat we hier te doen hebben met twee van elkaar onafhankelijke verschijnselen, en dat de versterkte speekselafscheiding niet eenvoudig het gevolg is van den versterkten bloedtoevoer. Door prikkeling van de zenuwen zien we de klier bloedrijker worden, en wel doordat de slagaderen die het bloed naar de klier toevoeren wijder worden. Er moeten dus in de geprikkelde zenuw vezels aanwezig zijn, die zich naar de slagaderen begeven en deze kunnen verwijden, zoogenaamde vaatverwijdende zenuwen. Zijn er nu, behalve die vaatverwijdende zenuwen, ook nog eigenlijke klierzenuwen in den geprikkelden zenuwstam aanwezig, wier prikkeling de oorzaak is van de versterkte afscheiding? Dat dit laatste werkelijk het geval is, laat zich door de volgende proef bewijzen. Atropine, het werkzaam bestanddeel van de Nachtschade (Atropa Belladonna) verlamt de eigenlijke klierzenuwen, doch laat de vaatzenuwen betrekkelijk onaangetast. Wordt nu een speekselklier onder den invloed van atropine gebragt, en dan de zenuw er van geprikkeld, dan treedt de vaatverwijding en daardoor de versterkte bloedtoevoer wel op, maar de versterkte afscheiding niet. Daardoor is het bewijs geleverd dat de beide verschijnselen niet noodzakelijk met elkaar gepaard behoeven te gaan, dat het een niet een gevolg is van het andere. De vaatverwijding wordt bewerkt door de vaatverwijdende zenuwen, de versterkte afscheiding door de eigenlijke klierzenuwen.

In gewonen toestand is de aanleidende oorzaak tot speekselafscheiding een prikkeling van het slijmvlies der mondholte. Ieder weet dat de speekselafscheiding toeneemt, wanneer er scherpe stoffen, peper en dergelijke op de tong worden gebracht. Deze stoffen prikkelen in de eerste plaats de gevoelszenuwen van de mondholte; die prikkel wordt naar de hersenen voortgeleid, en bewerkt daar de gewaarwording van iets scherps. Maar daarbij blijft het niet; de prikkeling van de gevoelszenuwen der mondholte wordt ook overgebracht op de zenuwen van de speekselklieren, en zoodoende zullen deze als het ware uit de tweede hand worden geprikkeld, er heeft plaats wat men noemt een reflexverschijnsel. Op die wijze bewerkt de aanwezigheid van voedsel in de mondholte, door prikkeling van de gevoelszenuwen van tong, enz. tevens secundair een versterkte speekselafscheiding.

Doch behalve deze wijze van speekselafscheiding bestaat er nog een andere insgelijks zeer bekende, n.l. het zoogenaamde watertanden. Hier kan van een eigenlijke prikkeling van het mondslijmvlies geen sprake zijn; wij voelen dat in onzen mond zich speeksel verzamelt reeds bij den aanblik van spijzen die onze begeerte wekken, of zelfs reeds bij het denken daaraan. In geen geval behoeft er iets van in den mond te komen. Hetgeen hier vooraf moet gaan is niet de prikkeling van gevoelszenuwen, maar de voorstelling in de hersenen; wij stellen ons het begeerde voedsel levendig voor, en die levendige voorstelling werkt in de hersenen als prikkel op de zenuwen der speekselklieren.

Het op een van deze wijzen afgescheiden speeksel verzamelt zich door de uitloozingsbuizen der klieren in de mondholte, en vermengt zich daar met het door de kleine slijmkliertjes, die overal in de mondholte verspreid liggen, afgescheiden slijm. Ook reeds in de speekselklieren zelf heeft een vorming van slijm plaats.

Het aldus ontstane mengsel, het gewone speeksel, is een kleurlooze, meer of minder taaie, alkalisch reageerende vloeistof, die voor het grootste gedeelte uit water bestaat, en slechts zeer weinig (gemiddeld 1 pct.) vaste bestanddeelen bevat. Onder deze vaste bestanddeelen komen voor: slijmstof, eiwitstoffen, de eigenaardige giststof van het speeksel (waarover aanstonds nader) en koolzure kalk. Dit laatste bestanddeel komt altijd in vrij groote hoeveelheid voor, en kan zich gemakkelijk in vasten toestand uit het speeksel afzetten, iets wat onder anderen gebeurt bij de vorming van het zoogenaamde wijnsteen, een kalkhoudende afzetting, die vooral aan de binnenzijde der tanden ontstaat, en dikwijls tot een vrij dikke laag zich kan ophoopen. Met het eigenlijke wijnsteen, dat zich uit den wijn afzet, heeft deze stof niets anders dan den naam gemeen.

Welke beteekenis heeft het speeksel voor onze spijsvertering?

In ons voedsel komt meestal voor zetmeel. Dit zetmeel bevindt zich in onze plantaardige voedingsmiddelen in den vorm van kleine vaste in water onoplosbare korrels. Deze korrels blijven in koud water geheel onveranderd. In warm water zwellen ze wel op tot een meer of minder dikke gelei (onze gewone stijfsel), maar vormen toch geene

volkomene oplossing. Het zetmeel als zoodanig kan dus niet in het bloed worden opgenomen, omdat het in zijn vasten of opgezwollen toestand niet door den wand der bloedvaten kan doordringen. Daartoe moet het eerst omgezet zijn in suiker (druivensuiker). Deze omzetting volbrengt het speeksel, en wel door zoogenaamde gisting.

Een gistingsverschijnsel noemen we een scheikundige omzetting of splitsing van een of andere organische stof, onder den invloed van een andere stof, die bij die werking niet wordt verbruikt, of althans zoo weinig dat hare hoeveelheid in geen vaste verhouding behoeft te staan tot die der omgezette stof. Zulk een gisting veroorzakende stof heet giststof of ferment.

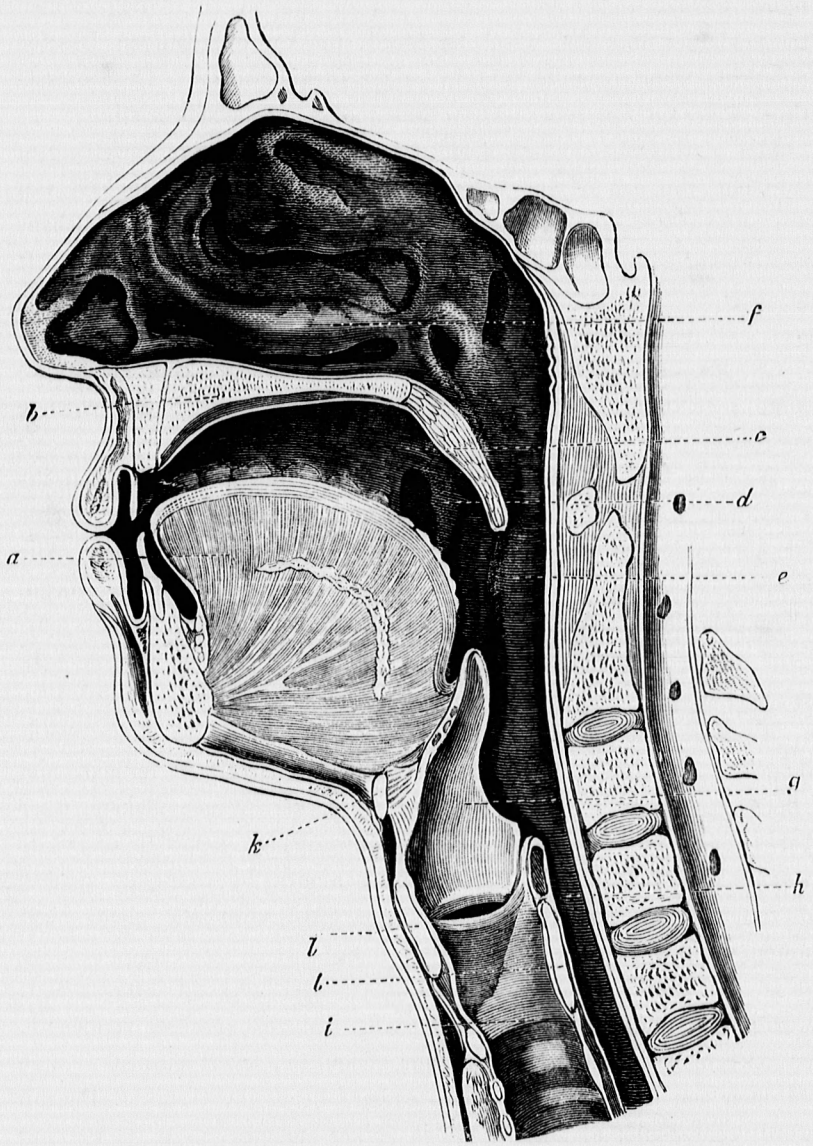
Om het onderscheid tusschen zulk een gistingswerking en een gewone scheikundige ontleding te doen uitkomen, diene het volgende voorbeeld.

Wanneer uit koolzure kalk koolzuur zal ontstaan onder den invloed van zoutzuur, dan kan een zekere hoeveelheid zoutzuur slechts een bepaalde hoeveelheid koolzure kalk ontleden en niet meer. Alle koolzure kalk, die boven deze bepaalde hoeveelheid wordt toegevoegd, blijft onontleed, en nadat de werking heeft plaats gehad, is het zoutzuur niet meer als zoodanig aanwezig, maar heeft zich met de kalk verbonden.

Wanneer echter door een of ander ferment zetmeel in suiker wordt omgezet, dan zal ik met eene zeer kleine hoeveelheid ferment niet alleen een groote hoeveelheid zetmeel tot suiker kunnen maken, maar het ferment blijft ook als zoodanig aanwezig, en kan dan onder de vereischte omstandigheden steeds meer nieuwe hoeveelheden zetmeel omzetten. Wat eigenlijk bij zulk een gistingswerking plaats heeft weten we nog niet.

In het speeksel nu is zulk een op zetmeel werkend ferment aanwezig. Een dunne stijfselpap met eenige druppels speeksel vermengd, en op een matig warme temperatuur gehouden, levert binnen weinige minuten een zeer duidelijk waarneembare hoeveelheid suiker. Daarbij wordt echter niet al het zetmeel in suiker omgezet, maar de werking is eigenlijk deze, dat het zetmeel zich splitst in dextrine (een gomsoort) en suiker. Hoe meer nu het zetmeel door warm water opgezwollen is, des te gemakkelijker zal deze werking plaats hebben; van daar dat rauw zetmeel moeielijker tot suiker wordt dan gekookt zet-

Fig. 37.



Doorsnede van de mond- en keelholte.

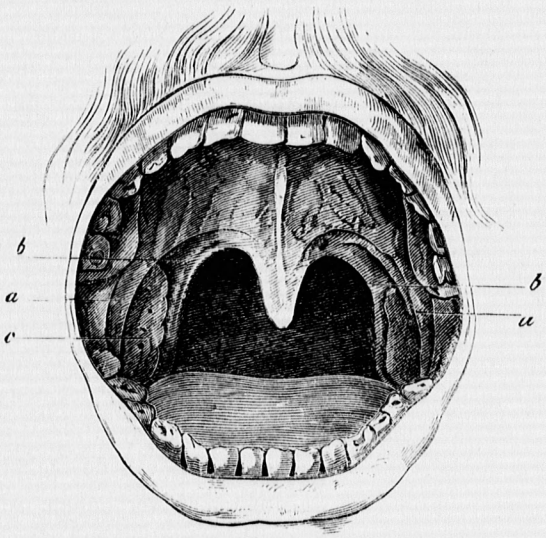
a. Tong. *b.* Hard verhemelte. *c.* Zacht verhemelte. *d.* Voorste boog. *e.* Achterste boog. *f.* Neusholte. *g.* Strotklepje. *h.* Slokdarm. *i.* Luchtpijp. *k.* Tongbeen. *l.* Strottenhoofd.

meel, en vandaar ook het doelmatige om ons plantaardig voedsel voor het gebruik te koken.

Tot die suikervorming uit zetmeel beperkt zich de spijsvertering in onze mondholte. Andere werkingen die men aan het speeksel heeft toegeschreven, zijn òf als niet bestaande aangetoond, òf zijn van minder beteekenis.

Is nu het voedsel behoorlijk vermalen en met speeksel vermengd, dan moet het worden doorgeslikt. Dat s l i k k e n is een zeer samengestelde beweging, waaraan men drie voorname stadiën kan onderscheiden.

Fig. 38.



De keelholte van voren.

a. Voorste verhemelteboog. *b*. Achterste verhemelteboog. *c*. Amandel.

In het eerste tijdperk geschieden zulke bewegingen, die het voedsel achter in de mondholte verzamelen. Dat gebeurt voornamelijk door de tong. Eerst legt zich de punt van de tong tegen de achtervlakte der bovenste snijtanden, en verder legt zich, van de punt uitgaande, achtereenvolgens de geheele bovenvlakte der tong tegen het gehemelte, zoodat het voedsel niet anders kan uitwijken dan naar achteren, en zoo doende achter in de mondholte geschoven wordt.

Nu begint het tweede tijdperk der slikbeweging. Achter in den

mond bevinden zich ter weêrszijden de beide verhemeltebogen, die, om het zoo uit te drukken, even als staatsiegordijnen van boven naar beneden zijn uitgespannen, en naar elkaar toe en van elkaar af kunnen schuiven. Het dak van de mondholte wordt gevormd door het harde beenige verhemelte. Dit gaat naar achteren toe over in een vleezig, niet beenig gedeelte, het zachte verhemelte. Het uiteinde van dit zachte verhemelte is de zoogenaamde huig, het langwerpige knopje, dat terstond in het oog valt als we het achtergedeelte van de mondholte beschouwen. Van de zijranden van dit zachte gehemelte gaan de verhemeltebogen naar beneden, de voorsten naar de zijranden van de tong, de achtersten naar de achtervlakte van de keel. Zoodra nu het voedsel tusschen deze beide bogen komt, sluiten ze zich door naar elkaar toe te schuiven. De voorste bogen beletten dus het voedsel den terugkeer in de mondholte; tegelijk met de sluiting der achterste bogen neemt het zachte gehemelte, dat in rust min of meer recht naar beneden hangt, een meer horizontalen stand aan, zoodat het als het ware een dwars middenschot in de keel vormt. Zoo doende kan het voedsel dus niet naar boven opstijgen, het blijft beneden het zachte gehemelte, en kan niet in het achterdeel der neusholte komen.

Maar nog een ander gevaar wacht het voedsel, n. l. dat van in de luchtpijp te komen. De opening toch van de luchtpijp bevindt zich beneden in de keel aan de voorzijde achter den tongwortel. Dit gevaar nu wordt vermeden op de volgende wijze.

Het strottenhoofd, het bovenste uiteinde van de luchtpijp, is door spieren aan het tongbeen en de onderkaak verbonden. Als de onderkaak vast staat en die spieren zich samentrekken, dan zullen dus het tongbeen en het strottenhoofd omhoog worden getrokken. Daartoe moet dus ons eerste werk zijn, de onderkaak vast te zetten, en dat gebeurt door den mond te sluiten, waarbij de onderkaak door de kauwspieren tegen de bovenkaak wordt aangedrukt. Ieder kan bij zich zelf nagaan dat we met open mond, dat is met niet vastgezette onderkaak, slechts zeer onvolkomen kunnen slikken. Want door dat optrekken van het strottenhoofd wordt de strotopening tegen den wortel van de tong aangedrukt en daardoor gesloten. Die sluiting wordt nog bevorderd door de aanwezigheid van het strotklepje, dat tusschen tong en strot ligt, en dus bij die beweging op de opening

wordt neergedrukt. Ook door zijne eigene spiertjes wordt het strotklepje naar beneden getrokken. Volstrekt noodzakelijk is trouwens dat strotklepje voor het doorslikken van vaste stoffen niet, wel voor het doorslikken van vloeistoffen.

Terwijl dus het voedsel op deze wijze aan het gevaar van in den strot te verdwalen ontsnapt, begint de beweging, die men als het derde tijdperk der slikbeweging kan aanmerken, en die de spijs in de maag brengt. De keel en evenzoo de slokdarm, die er het vervolg van is, hebben in hun wand spierlagen, waarvan de vezels in tweeerlei richting verloopen: overlangsche vezels in de richting van de lengte-as der buis, en kringsgewijze vezels, die ringvormig rondom de buis loopen. Wanneer nu de overlangsche vezels zich samentrekken, dan wordt daardoor de buis rondom den inhoud omhoog getrokken, en zoodoende komt de inhoud verder in de buis, evenals een kous om een been wordt omhoog getrokken. En tevens zal door samentrekking van de kringsgewijze vezels de inhoud kunnen worden voortgeperst, en de terugkeer in de verkeerde richting belet. Zulk een beweging draagt den naam van wormvormige of peristaltische beweging, en het laat zich begrijpen dat daardoor de inhoud van een buis zeer goed kan worden voortbewogen. Met dit vervoer van het voedsel door keel en slokdarm naar de maag toe is de slikbeweging afgeloopen.

Vaste stoffen worden altijd op deze wijze door slikken naar de maag gebracht, doch bij vloeistoffen is dit niet volstrekt noodig. Een teug van een of andere vloeistof vereischt wel een slikbeweging, doch men kan ook drinken op een wijze waarbij geen slikken noodig is. Die wijze van drinken kan men waarnemen bij hen die een glas *ad fundum* drinken door het eenvoudig er in te laten loopen. Zij vormen als het ware van hun mond, keel en slokdarm een samenhangende doorgaande buis, waarin ze het vocht eenvoudig ingieten. Merkwaardig is het dat deze wijze van drinken, die men bij ons alleen van enkele drinkvirtuosen ziet, bij de slavische volken zeer algemeen in gebruik is, zonder dat iemand daarin iets berispelijks vindt.

Uit het gezegde blijkt, dat gedurende een behoorlijke slikbeweging niet kan ingeademd worden, omdat de strotopening gesloten moet zijn. En van daar dan ook dat stoornis van slikbeweging, verslikken, het krijgen in de verkeerde keel dan vooral optreedt, als wij

gedurende het slikken tevens ademhalingsbewegingen maken, zooals bij lachen, praten, enz.

Ten slotte nog de opmerking, dat het slikken niet is eene willekeurige beweging, voor zoover we alleen in het eerste tijdperk van de slikbeweging eenig beheer er over hebben. We kunnen een slikbeweging beginnen met de tong, maar het verder verloop moeten we aan een mechanisme overlaten, dat zonder onzen wil werkt. Het slikken is een reflex-beweging, die veroorzaakt wordt door een prikkeling van mond- en keelholte, zooals de speekselafscheiding een reflexafscheiding is. En dat dit werkelijk het geval is, blijkt onder anderen daaruit, dat het ons onmogelijk is te slikken, wanneer we niets in den mond hebben. Laat iemand eens beproeven eenige malen snel achtereen te slikken. De eerste maal gaat het goed, dan heeft hij nog speeksel in den mond, dat als prikkel tot slikbeweging kan werken. Maar zoodra dat is doorgeslikt, en er niets meer in den mond is, wat een reflectorische slikbeweging kan bewerken, is het slikken onmogelijk geworden.

II.

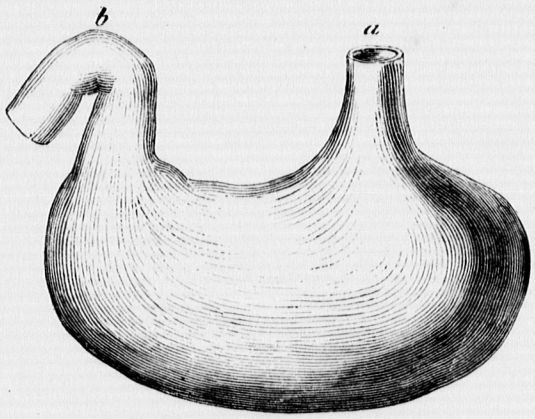
DE SPIJSVERTERING IN DE MAAG.

Vroeger noemde men de maag het spijsverteringsorgaan bij uitnemendheid; men hield het er voor, dat de verteringsverschijnselen uitsluitend in de maag plaats hadden, een beschouwing die in het dagelijksch spraakgebruik nog is overgebleven. Immers men zegt van iemand met gestoorde spijsvertering: zijn maag is van streek; of van iemand, wiens vertering niet krachtig genoeg is: hij heeft een zwakke maag, enz. Doch juist is die beschouwing niet; de maag is wel een voornaam, maar niet het eenig spijsverteringswerktuig; de omzetting der stoffen geschiedt even goed ook buiten de maag, in de overige deelen van het darmkanaal. Dat neemt niet weg, dat hetgeen in de maag gebeurt belangrijk genoeg is om daaraan hier een afzonderlijk hoofdstuk te wijden.

De maag is een zakvormige verwijding van het darmkanaal, die boven in de buikholte dwars van links naar rechts verloopt. De slokdarmmond komt echter niet geheel aan het linkeruiteinde van

den zak uit, maar meer naar het midden toe, aan de bovenzijde van de maag, zoodat ter linkerzijde van de slokdarmopening nog een meer of minder aanzienlijke uitbochting, een soort van blinde zak,

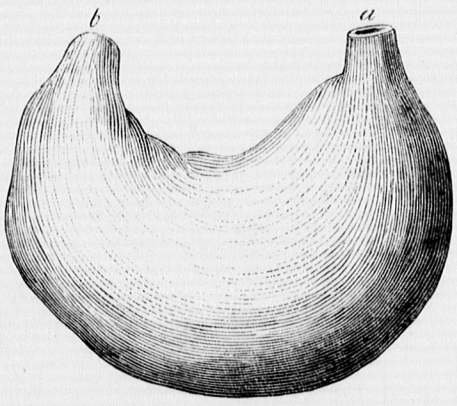
Fig. 39.



Maag van een mensch.

zich bevindt. De ontwikkeling van dezen blinden zak is zeer verschillend bij verschillende dieren, en wel naar mate van het voedsel.

Fig. 40.



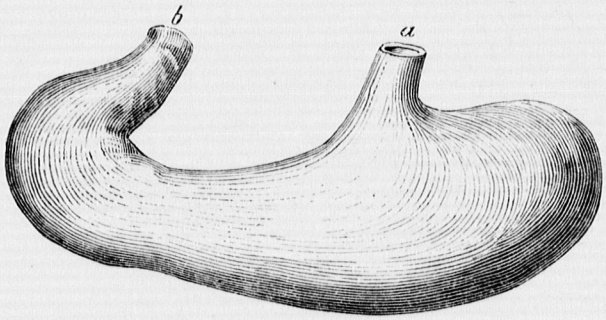
Maag van een wilde kat.

In 5 en 6. *a*. einde van den slokdarm. *b*. begin van den darm.

Hoe langer het voedsel in de maag moet vertoeven, des te grooter is die linksche blinde zak. Zoo is hij sterker ontwikkeld bij plantenetende dan bij vleeschetende dieren, wier voedsel sneller verteer-

baar is, terwijl zelfs bij herkauwende dieren die blinde zak zich tot de omvangrijke pensmaag ontwikkelt. Ook zelfs bij een en dezelfde diersoort kan die blinde zak in verschillende levenstijdperken in omvang verschillen. Zoo gelijkt de maag van den zuigeling in vorm veel meer op die van de vleeschetende kat, dan de maag van den volwassene, omdat het voedsel van den zuigeling gemakkelijker ver-

Fig 41.



Maag van een vruchtetende vleermuis.

a. einde van den slokdarm. *b.* begin van den darm.

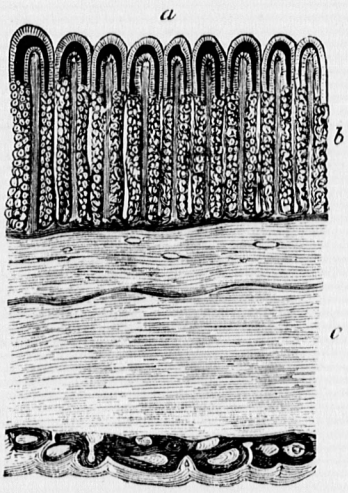
teerbaar is, en niet zoolang in de maag behoeft te vertoeven als het voedsel van den volwassene.

In den wand van de maag zijn duidelijk twee lagen te onderscheiden, een buitenste spierlaag en een binnenste slijmvlieslaag. In de spierlaag loopen spiervezels in verschillende richtingen, overlangs (dat is parallel met de as van de maag), kringsgewijs en schuin. De slijmvlieslaag bestaat bijna uitsluitend uit klieren, buisjes die onmiddellijk naast elkaâr in het slijmvlies zijn ingestulpt. Deze klierbuisjes zijn aan hunne monding met cilindervormige cellen bekleed, en zijn voor het overige met korrelige kliercellen opgevuld.

De verrichting van deze klieren is de afscheiding van een zuur en waterig vocht, het maagsap. Dit vocht wordt echter niet voortdurend afgescheiden. De binnenwand van een nuchtere maag is bleek, weinig bloedrijk, en alleen met een dun laagje slijm bedekt dat niet zuur is. Doch zoodra er voedsel in de maag komt, wordt het slijmvlies rood, bloedrijk, en scheidt zuur maagsap af. Hier gaat dus even als in de mondholte een prikkeling van het slijmvlies aan de afscheiding vooraf.

Dat ook in de levende menschenmaag ditzelfde gebeurt, daarvan heeft men soms gelegenheid zich te overtuigen, nl. bij patiënten, bij wie, door verwonding of andere oorzaken, een opening in den maagwand en den buikwand is ontstaan, die zich later niet meer sluit. Zulk een opening heet een maagfistel. Daardoor is dus het inwendige van de maag direct toegankelijk geworden. Ook in het maagsap is een ferment aanwezig, dat den naam draagt van pepsine en de eigenschap heeft, eiwitstoffen om te zetten tot zoogenaamde peptonen. Over de beteekenis van deze omzetting een enkel woord vooraf.

Fig. 42.



Doorsnede van den maagwand.
a. Binnenvlakte. *b*. Maagklieren. *c*. Spierlaag.

Bij het koken van onze spijzen stollen, zooals bekend is, de daarin aanwezige eiwitstoffen en worden in water onoplosbaar. Een gekookt stuk vleesch kan men in water leggen zonder dat er eiwitstoffen in het water zullen overgaan, omdat ze door verwarming onoplosbaar zijn geworden. Van een overgang van deze gestolde onoplosbare eiwitstoffen in het bloed kan dus geen sprake zijn, omdat tot opneming in het bloed de opgeloste toestand een eerste vereischte is. Doch ook al zijn de eiwitstoffen niet gestold en in vloeibaren toestand aanwezig, toch kunnen ze niet als zoodanig in het bloed overgaan, althans niet in belangrijke hoeveelheid. Want de overgang der voedingstoffen in het bloed heeft niet plaats door een opening in den wand der bloedvaten, maar door den gesloten vliezigen wand dier vaten zelf. Zulk een overgang van een opgeloste stof door een vlies heen, heet diffusie. Tot verduidelijking hiervan moge de volgende proef dienen.

Stel een van weêrskanten opene glazen buis. Wij binden nu om het eene uiteinde van die buis een stuk perkament-papier of een stuk varkensblaas zoo stevig vast, dat de buis daardoor aan dat uiteinde volkomen gesloten wordt, zoodat een vloeistof, die er in gego-

ten wordt, er niet uitloopt. Nu gieten we in de buis een oplossing, bijv. van keukenzout, en hangen de buis in een glas met gedestilleerd water. De zoutoplossing in- en het water buiten de buis zijn dus van elkaâr gescheiden door het vlies. Doch dat dit vlies geen onoverkomelijk beletsel is voor den doorgang der vloeistoffen, blijkt daaruit, dat na eenigen tijd keukenzout in het omringende water aantoonbaar is. Het zout is, zooals men het noemt, door het vlies heen gediffundeerd.

Dat vermogen tot diffusie is niet bij alle stoffen gelijk. Bij sommige stoffen is het zoo gering, dat het in de praktijk gelijk nul mag gesteld worden. Hadden we bijv. in onze buis, in plaats van zout, een eiwitoplossing gedaan, dan zou er van dat eiwit niets of nagenoeg niets in het omringende water overgegaan zijn. Eiwit is zeer weinig diffusibel.

De overgang van stoffen nu in het bloed moet evenzeer door diffusie plaats hebben. Wat het perkament-papier is in onze proef, dat is de wand der bloedvaten in dit geval. Zal het eiwit nu in het bloed worden opgenomen (en dat moet toch plaats hebben als het tot voedsel zal strekken), dan moet het eerst omgezet worden in stoffen die gemakkelijker diffundeeren. Zulke stoffen zijn de peptonen. Wanneer wij in onze buis van zooeven in plaats van eiwit een peptoon-oplossing hadden gebracht, dan zouden we na eenigen tijd wel degelijk de aanwezigheid van peptoon in het omringende water kunnen constateeren. Wel is waar diffundeeren de peptonen niet zoo sterk als men dit vroeger wel meende, maar toch altijd veel gemakkelijker dan eiwit.

Pepsine, het ferment van het maagsap, zet eiwitstoffen in peptonen om, en maakt daardoor den overgang er van in het bloed mogelijk. Doch die omzetting is van verschillende omstandigheden afhankelijk. Vooreerst werkt het pepsine niet anders dan in een zure vloeistof. Daarom is het maagsap ook altijd zuur, en wel door zoutzuur, waarvan het 0,2 tot 0,3 pct. bevat. Is nu het zuur door een of andere stoornis in de afscheiding niet in voldoende hoeveelheid aanwezig, dan zal daardoor de werking van het pepsine belemmerd worden, en de patient lijdt aan slechte spijsvertering. Daarin vindt de gunstige werking van zoutzuur bij sommige spijsverteringsziekten voor een deel hare verklaring.

Ten anderen is voor die werking van pepsine op eiwit een zekere temperatuur noodig. Hoe lager de temperatuur is, des te langzamer heeft de vertering plaats. Bij een temperatuur overeenkomende met die van het levende lichaam (37 graden) gaat zij het snelst. Nu zal in gewone omstandigheden de maaginhoud wel altijd die temperatuur hebben. Doch door sterke afkoeling, bijv. door het eten van veel ijs of het drinken van zeer koud water onmiddellijk na het eten, kan wel degelijk een temperatuursverlaging plaats hebben, die de spijsvertering tijdelijk stoort.

Sterke afkoeling van den maaginhoud is bovendien om een andere reden schadelijk. Zooals we straks hebben opgemerkt is de binnenvlakte van de verterende maag rood en bloedrijk. Die rijkdom aan bloed is een vereischte voor de behoorlijke afscheiding der maagklieren. Door vermindering van dien rijken bloedtoevoer wordt ook die afscheiding minder. Wanneer nu plotseling stoffen van zeer lage temperatuur met die bloedrijke binnenvlakte van de maag in aanraking komen, dan zullen door den prikkel der koude de bloedvaten zich samentrekken, nauwer worden en zoodoende minder bloed toelaten, dan voor een behoorlijke werking der maagklieren noodig is.

Sterke afkoeling van den maaginhoud is dus schadelijk doordat ze de pepsinewerking vertraagt, en ten anderen door dat ze den maagwand armer maakt aan bloed. Daarmede veroordeel ik niet het drinken van een glas water en het gebruik van een portie ijs bij of na het eten, maar waarschuw alleen voor overdaad in dezen.

Ten aanzien van onze verschillende eiwithoudende voedingsmiddelen verdient nog het volgende te worden opgemerkt, wat hunne lotgevallen in de maag betreft.

Het vleesch (dat is de spieren van ons slachtvee) bestaat voornamelijk uit spiervezels. Dit zijn langwerpige vliezige kokertjes, waarin de eiwitrijke spierzelfstandigheid door een dun vlies omsloten is. Een aantal van deze spiervezels liggen parallel naast elkaâr en vormen een spierbundel. Rondom zulk een spierbundel ligt een scheede van bindweefsel. Weer een aantal spierbundels met hunne scheeden vereenigen zich tot een dikkeren bundel, en krijgen dan een gemeenschappelijke scheede van bindweefsel, en zoo gaat die vereeniging van

spierbundels en hunne omsluiting door bindweefselscheeden steeds verder, tot dat eindelijk de geheele spier door een stevige scheede van bindweefsel omgeven wordt. Daaruit laat zich opmaken dat in de spier als het ware een geraamte van bindweefsel aanwezig is, waarvan de kokervormige tusschenruimten met eigenlijke spierzelfstandigheid zijn opgevuld.

Het vleesch zal nu des te beter verteerd worden, naarmate het meer in zijne afzonderlijke spierbundels en spiervezels verdeeld is. Hun onderlinge verbinding moet dus zooveel mogelijk worden opgeheven. Nu doet het maagsap het bindweefsel opzwellen en week, geleiachtig worden, zoodat de spierbundels gemakkelijk van elkaar loslaten en uiteenvallen. En daar nu bij oudere dieren het bindweefsel steviger en taaier is dan bij jonge, zal dat uiteenvallen bij deze moeielijker plaats hebben. Het bindweefsel gaat daar niet zoo gemakkelijk in verweeking en opzwelling over. Daarom is het vleesch van een oud dier minder gemakkelijk verteerbaar. Niet door dat het eiwit van de eigenlijke spierzelfstandigheid in verteerbaarheid verschilt, dat is bij een oude koe geheel hetzelfde als bij een jong kalf, maar het oude rundvleesch met zijn steviger bindweefsel valt minder gemakkelijk uiteen. De toevoeging van azijn tot vleesch vindt dan ook hierin hare verklaring, dat door het zuur van den azijn het bindweefsel reeds vooraf eenigszins verweekt en opzwelt.

Het is hier de plaats, op een vrij algemeen verbreid vooroordeel te wijzen, nl. het vooroordeel tegen uitgekookt vleesch en tegen harde eieren. Men zegt dikwijls dat het uitgekookte vleesch van de soep bijv. voor onze voeding niets beteekent, omdat vooreerst alle voedende stoffen er uitgetrokken zijn, zooals men meent, en het ten anderen door het harde koken toch onverteerbaar is geworden. Geen van beiden is juist. De voornaamste voedingsstoffen van het vleesch zijn de eiwitstoffen die er in aanwezig zijn. Deze worden door het kokend water niet opgelost en dus ook niet uitgetrokken, zij worden juist onoplosbaar en blijven dus in het vleesch terug. En nu laat het zich aantoonen dat althans door het maagsap hardgekookt eiwit, ten minste evengoed, zoo niet beter verteerd wordt dan rauw eiwit. Harde eieren en uitgekookt vleesch kunnen zeer goed in onze maag verteerd worden en het lichaam als voedsel ten bate komen. Daarmede wil ik niet beweren dat uitgekookt vleesch geheel op eene lijn te stellen

is met een sappig stuk goed gebraden vleesch; het heeft door het uitkoken wel degelijk belangrijke bestanddeelen verloren, maar daarom heeft het nog niet zijn voedzaamheid en verteerbaarheid verloren.

De melk ondergaat, voordat ze verteerd wordt, in de maag een stolling, dezelfde die ook plaats heeft bij het zuur worden van de melk door lang staan. In beide gevallen wordt de voornaamste eiwitstof van de melk, de kaasstof, onoplosbaar. Die klompen gestolde kaasstof zijn sterk met vet doortrokken; de vetbolletjes uit de melk blijven tusschen de kaasstof hangen. Van daar dat de uit onafgeroomde melk bereide kaas altijd rijk is aan vet. Wanneer zich nu een groote hoeveelheid van die gestolde kaasstof op eens in de maag vormt en als dikke klonters in de maag aanwezig is, dan wordt de gemakkelijke verteerbaarheid door dat ingesloten vet niet bevorderd. Met vet doortrokken stoffen immers worden niet gemakkelijk door waterige vloeistoffen doortrokken, en zoo ook zal hier het waterige maagsap die vette kaasstofklompen moeielijk doortrekken en dus ook minder gemakkelijk verteren. Daarom is het raadzaam groote hoeveelheden melk niet al te schielijk achter elkaar te drinken, bijv. niet in één teug een halve liter naar binnen te slaan, maar liever bij kleinere tusschenpoozen te drinken.

Er zijn menschen die betrekkelijk groote hoeveelheden melk op eens drinken, hun maag er meê vullen en uitsluitend van melk leven, nl. de zuigelingen. Hebben zij dan geen last van de moeielijke verteerbaarheid van die gestolde kaasstof? Als zij de borst krijgen en niet kunstmatig gevoed worden, dan niet, want dan ontstaan er niet eens in hunne maag die vette klompen kaasstof. De kaasstof van de vrouwemelk stolt niet in dikke klompen zoo als die van de koemelk en van de meeste andere dieren, maar stolt in kleine vlokjes verdeeld, die natuurlijk door hunne kleinheid veel gemakkelijker door het maagsap worden aangetast, dan dikke vetrijke klompen.

Dat geeft ons tevens de verklaring waarom, bij de kunstmatige voeding van een zuigeling, de koemelk zoo sterk met water moet verdund worden. Zooals bekend is wordt de melk die het kind krijgt in den eersten tijd met drie- à viermaal haar volume water verdund. Dat is niet om ze in samenstelling meer overeenkomstig met de vrouwemelk te maken, want deze verschilt in concentratie niet veel van de koemelk. Die verdunning heeft alleen ten doel om zooveel moge-

lijk te bewerken dat de kaasstof uit de koemelk niet in dikke klonters stolt, maar meer fijn verdeeld even als de vrouwemelk. Merkwaardig is het dat de paardemelk, en wel vooral die van het paard uit de Zuid-Russische en Aziatische steppen, de eenige bekende melk is, die deze eigenschap van fijn verdeeld te stollen met de vrouwemelk gemeen heeft.

Wanneer er sprake is van verschil in verteerbaarheid verdienen de plantaardige voedingsmiddelen hier nog even besproken te worden. De plantaardige zoowel als de dierlijke weefsels waarmede wij ons voeden bestaan uit cellen, en in die cellen zijn de voedingsstoffen die wij noodig hebben, eiwitstoffen, vetten, enz. bevat. Nu hebben de plantaardige cellen over het algemeen tamelijk stevige celwanden, terwijl die bij de dierlijke cellen veel dunner en teerder zijn, of geheel ontbreken. Daar nu de cellen te klein zijn om bij het kauwen van ons voedsel allen verbrijzeld te worden, laat het zich begrijpen, dat bij een plantaardige voeding, vooral met rauwe plantendeelen, de voedingsstoffen niet zoo gemakkelijk voor de spijsverteringssappen toegankelijk zijn, omdat ze in het inwendige van die dikwandige cellen zijn opgesloten. Vandaar dat bij plantenetende dieren de spijzen veel langer in de maag blijven dan bij vleeschetende. Bij een hond bijv. is na een vleeschmaaltijd de maag reeds na drie à vier uren weer leeg, terwijl een konijn altijd de maag vol heeft, ook dan als het van honger gestorven is.

De maag bezit, zooals we straks opmerkten, een aanzienlijke spierlaag. Deze spiervezels kunnen zich samentrekken en daardoor op den inhoud van de maag een drukking uitoefenen en die bewegen. Als de maag niet gevuld is, is die beweging zeer gering; zij begint eerst eenigen tijd na de opneming van voedsel. Doch ook dan moet men zich geen al te groot denkbeeld vormen van die beweging; zij kan tot een eigenlijk vermalen zeker niets bijdragen, en bewerkt niet meer dan een kneden van het voedsel.

Eindelijk, voor dat we van de maag afstappen, nog deze eene vraag, wier beantwoording vroeger veel hoofdbrekens gekost heeft: waarom verteert de maag zichzelf niet? In de maag toch is een vloeistof, die eiwitstoffen kan oplossen; de wand van de maag bestaat groo-

tendeels uit eiwitstoffen; hoe komt het nu dat de eiwitstoffen in den inhoud van de maag wel, en die in den maagwand niet verteerd worden? Zonder ons met al de vroegere pogingen tot verklaring van dit raadselachtig verschijnsel bezig te houden, geven we hier alleen de verklaring die tegenwoordig als de juiste beschouwd wordt. Voor de werking van pepsine is, gelijk vroeger is opgemerkt, een zure vloeistof noodig. Deze is in den maaginhoud dan ook werkelijk aanwezig door het zoutzuur van het maagsap. De eigenlijke maagwand daarentegen is nooit zuur, want deze wordt voortdurend doorstroomd door het alkalische bloed. En zoo doende kan het in den maagwand zelf nooit tot vertering komen, omdat een van de voorname voorwaarden voor vertering, de zure reactie, ontbreekt.

III.

DE SPIJSVERTERING IN DEN DARM.

Is het voedsel in de maag behoorlijk verarbeid, dan verslapt de ringvormige spierlaag, die aan het benedenste uiteinde van de maag geplaatst is, en de spijsbrij kan vrij in den darm overtreden. Zij komt hierbij het eerst in den langen en gekronkelden dunnen darm, die het grootste gedeelte van de buikholte opvult. In dien dunnen darm worden reeds dicht bij de maag twee belangrijke spijsverteringssappen uitgestort. Het eerste daarvan is de g a l, het product van de lever.

De lever, de grootste klier van het lichaam, ligt rechts boven in de buikholte. Zij is zeer bloedrijk en bruinrood van kleur. Het vocht dat ze afscheidt, de gal, wordt niet terstond in den darm uitgestort, maar verzamelt zich eerst in een aan de ondervlakte van de lever gelegen blaas, de galblaas. Van daar uit wordt het door de galbuis naar den darm gevoerd.

Volgens de beste berekeningen wordt er bij den mensch gemiddeld een half liter gal per etmaal afgescheiden. Dit is een bruine, taaie, zeer geconcentreerde vloeistof, die tien procent en meer vaste stoffen kan bevatten. Zij reageert sterk alkalisch, en zal dus de zure

vloeistof die uit de maag komt onmiddellijk neutraliseeren, zoodat daardoor de pepsinewerking, die alleen in zure vloeistof bestaan kan, ophoudt. De beteekenis nu die de gal voor de spijsvertering heeft schijnt alleen gezocht te moeten worden in hare werking op vet.

Het grootste deel van het met het voedsel ingenomen vet moet in het bloed opgenomen worden in den vorm van een zoogenaamde emulsie. Emulsie noemt men een waterige vloeistof, waarin vet in fijne drupjes en bolletjes verdeeld is, en wel zoo dat het niet gemakkelijk tot grootere droppels weer samenvloeit. Schudt men b.v. boomolie met water, dan verdeelt zich het vet wel door het water heen, maar zoodra het water rustig staat, vloeien de afzonderlijke vetdroppels weer samen, en de olie verzamelt zich langzamerhand weer boven op het water. Is echter de olie met water en arabische gom gewreven, dan wordt, door de tegenwoordigheid van de gom, het samenvloeien van de vetdruppels belet, althans zeer vertraagd. De gom werkt hier emulsievormend. Zoo is ook de melk een emulsie, waarin insgelijks tal van fijne vetbolletjes in een waterige vloeistof drijven.

Door de vermenging met gal en de beweging in den darm wordt nu het vet van ons voedsel eveneens tot een emulsie, en in dien fijn verdeelden vorm kan het vet in het bloed worden opgenomen. Dat de gal werkelijk bij de opneming van vet in het bloed een groote rol speelt, blijkt daaruit, dat dieren bij wie de gal niet in den darm komt maar door een opening in de galblaas naar buiten afvloeit, ofschoon ze niet sterven, toch zeer mager worden en veel meer voedsel noodig hebben dan normale dieren. Volledig bekend is trouwens de werkzaamheid der gal bij de spijsvertering nog op verre na niet.

Het tweede belangrijke spijsverteringssap, dat in den darm wordt uitgestort, is het sap van de alvleeschklier, het pancreassap. Dit vocht wordt bereid in een groote achter de maag gelegen klier; het reageert evenals de gal sterk alkalisch, en bevat drie verschillende fermenten. Het eene zet eiwitstoffen om in peptonen, en zet dus de pepsinewerking voort. Het tweede vormt suiker uit zetmeel, en zet dus de speekselwerking voort. Het derde ferment eindelijk ontleedt vetten in vetzuren en glycerine.

Of nu behalve deze twee voorname verteringssappen, pancreassap

en gal, het product van de kleine kliertjes die in den darmwand zelf gelegen zijn, het eigenlijke darmsap, bij de spijsvertering wel een groote rol speelt, mag betwijfeld worden. Het is althans niet gelukt, krachtige werkingen daarvan aan te toonen.

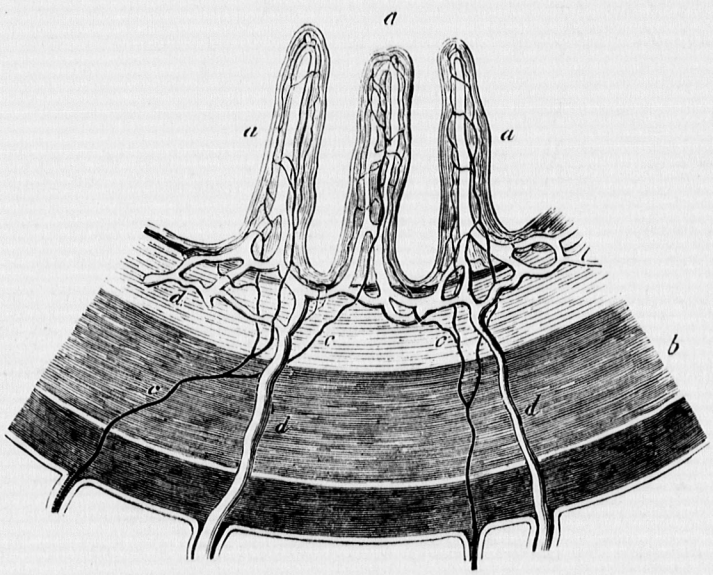
Op welke wijze komen nu de in maag en darm verteerde stoffen in het bloed? Daar moeten ze toch, zullen ze voor de voeding van het lichaam van eenige beteekenis zijn, ten slotte arriveeren. Ofschoon nu die opneming in het bloed zeker reeds in de maag begint, is toch de dunne darm het voornaamste orgaan daarvoor, en ook met bijzondere inrichtingen voor absorptie voorzien. De dunne darm is zeer rijk aan bloedvaten, die voortdurend zich tot grootere stammen vereenigen, in de poortader zich uitstorten, en zoo het bloed naar de lever voeren.

Maar behalve die bloedvaten bevat de darm nog andere vaten, zoogenaamde chylvaten. Deze zijn gewoonlijk met een waterige vloeistof gevuld, zoodat ze voor het bloote oog niet waarneembaar zijn. Doch door een eenvoudig middel kunnen ze zichtbaar gemaakt worden. Men voedt een dier rijkelijk met vet voedsel, en doodt het dan na verloop van vier tot zes uur. Men ziet dan bij het openen der buikholte den darm bedekt met een net van wit gekleurde buisjes, die, in het darmslijmvlies voortloopend, zich tot grootere stammen vereenigen. Dat zijn de chylvaten. Zij zien er uit alsof ze met melk gevuld waren, en hun inhoud komt dan ook in zoo ver met melk overeen, dat het een emulsie is van zeer fijne vetbolletjes. Die chylvaten bevatten grootendeels het vet waarmede het dier gevoed is. Zij zijn de wegen langs welke het vet uit den darm naar het bloed wordt gevoerd. Die chylvaten echter loopen niet, zooals de bloedvaten, van den darm naar de lever, maar monden uit in de zoogenaamde borstbuis, die dicht voor de wervelkolom naar boven loopt, en haren inhoud in een van de aderlijke vaten dicht bij het hart uitstort.

Die bloed- en chylvaten nu ontspringen om het zoo uit te drukken in den darmwand; daar liggen de fijnste beginselen er van. Deze moeten de verteerde stoffen uit den darminhoud opnemen, en ze zullen dat des te beter kunnen doen, hoemeer van die fijne vaat-

jes zich in een gegeven stuk darmwand bevinden. Hoe uitgebreider nu de inwendige darmoppervlakte wordt, des te meer van die kleine vaatjes zullen daar plaats hebben, en dus is voor eene krachtige absorptie vergrooting van de inwendige darmoppervlakte een eerst vereischte. Aan dat vereischte voldoet dan ook de bouw van het slijmvlies van den darm.

Fig. 43.



Schematische doorsnede van den darmwand. (Hier is slechts een gedeelte van den omtrek voorgesteld).

a. Darmvlokken. *b.* Spierlaag. *c.* Bloedvaten. *d.* Chylvaten.

Aan den darmwand kan men, even als ook aan de maag, twee lagen onderscheiden, een binnenste slijmvlieslaag en een buitenste spierlaag. De binnenvlakte nu van dat slijmvlies is niet glad maar met een groot aantal dicht opeenstaande tepelvormige uitsteekseltjes bezet, zoodat het eenigermate het uiterlijk heeft van fluweel. Die uitsteekseltjes, die $^1/_2$ à 1 millim. lang zijn, heeten darmvlokken. Zij bestaan uit een zeer los weefsel, en zijn met een laagje cilindervormige bekleedingscellen bedekt. In het centrum van zulk een vlok bevindt zich een holle ruimte zonder eigen wand, die waarschijnlijk met de chylvaten in den darm in verbinding staat, en als de oor-

sprong van deze vaten te beschouwen is. Bovendien is elke vlok van fijne bloedvaten voorzien.

Door de aanwezigheid van deze darmvlokken nu wordt, zooals zich licht laat begrijpen, de inwendige oppervlakte van den darm aanzienlijk grooter, en zoodoende bij uitnemendheid geschikt, om stoffen uit den darminhoud in de bloed- en chylvaten te laten overtreden. Natuurlijk moeten daarbij de stoffen eerst de laag bekleedingscellen der darmvlokken passeeren, en dat ze dit werkelijk doen, kan men waarnemen bij de vertering van vet. Onderzoekt men den darm van een dier, dat eenige uren tevoren rijkelijk met vet is gevoed, dan vindt men de cellen, die de binnenvlakte bekleeden, geheel opgevuld met fijne vetbolletjes. Dat vet dringt waarschijnlijk van daar uit, langs nog niet volkomen bekende wegen, in de centrale holte van de vlok, en komt zoodoende in de chylvaten die het naar het bloed voeren. Het vet wordt voornamelijk door de chylvaten en slechts weinig door de bloedvaten van den darm opgenomen: deze laatsten nemen hoofdzakelijk de zuiver opgeloste en gemakkelijk diffundeerende stoffen (suiker, zout en dergelijke) op. De bloedvaten van den darm komen allen te samen in de lever, en de uit den darm opgenomen stoffen zullen dus in de eerste plaats in dat orgaan arriveeren. En daar nu sommige stoffen in de lever teruggehouden worden en zich daarin meer of minder kunnen ophoopen, wordt het begrijpelijk dat bij het gerechtelijk geneeskundig onderzoek van vergiften, vooral het onderzoek van de lever veel waard is, daar men dikwijls hierin het vergif nog kan vinden, al is het ook in andere lichaamsdeelen, bijv. in den darm of in het bloed, niet aantoonbaar.

IV.

DE VOEDINGSMIDDELEN.

Na deze vluchtige schets van de spijsverteringsverschijnselen gaan we over tot de bespreking van de voornaamste stoffen, die aan die werkingen worden onderworpen, nl. onze voedingsmiddelen.

Het voedsel heeft in het lichaam hoofdzakelijk tweeërlei rol te vervullen. Vooreerst moet het strekken tot voortbrengen van warmte

en mechanischen arbeid, ten anderen moet het de slijtage van het lichaam herstellen, het verlies der weefsels aan hunne samenstellende bestanddeelen weer aanvullen. Warmte en arbeid ontstaan in het lichaam door omzetting van koolstofverbindingen, even als in een stoommachine warmte en arbeid ontstaan door verbranding van de kool op den vuurhaard. Hierbij blijven dus de stoffen niet wat ze zijn: ze worden omgezet, verbruikt, geoxydeerd. Doch bij de andere beteekenis van het voedsel, die van reparatie-materiaal, staat die omzetting niet op den voorgrond; daarbij moeten de stoffen, welke die rol zullen kunnen spelen, zooveel mogelijk gelijk zijn aan de weefselbestanddeelen, die zij hebben te vervangen. Zoo zal bijv. het keukenzout van het bloed niet door een ander zout kunnen worden vervangen, maar om het verlies aan keukenzout te herstellen, moet ook juist weer keukenzout worden toegevoerd.

Het zijn nu echter slechts betrekkelijk weinige stoffen die als materiaal tot arbeidsvorming of als reparatie-materiaal kunnen optreden, en wel de reeds in den beginne genoemde vijf groepen van voedingsstoffen: eiwitstoffen, koolhydraten, vetten, zouten en water. Wilde men tusschen deze vijf een onderscheid maken, dan zou men de koolhydraten en vetten kunnen beschouwen als voedingsstoffen, wier functie voornamelijk is het vormen van warmte en arbeid door hun eigen oxydatie. Want als essentieele bestanddeelen van levende weefsels treden de vetten en koolhydraten tegen de drie overige op den achtergrond, terwijl zij het zijn die bij de vorming van warmte en arbeid voornamelijk verbruikt worden. Daarentegen kunnen de eiwitstoffen, de zouten en het water meer bepaald reparatie-materiaal heeten. Immers de zouten worden in het lichaam volstrekt niet geoxydeerd, maar blijven wat ze zijn, en evenzoo het water, terwijl het is aangetoond dat bij de productie van arbeid in het lichaam de eiwitstoffen der spieren niet merkbaar verbruikt worden. Zij verhouden zich dus eenigermate als het ijzer van de stoommachine, dat wel gedurende de werking der machine door slijtage eenigszins afneemt, maar toch eigenlijk niet den arbeid levert.

Zelden nemen wij de voedingsstoffen in zuiveren toestand tot ons, enkele gevallen (het eten van suiker, het drinken van levertraan) uitgezonderd. Meestal nemen wij ze op in den vorm van voedingsmiddelen, met elkander en met andere stoffen vermengd.

Wij ontleenen die voedingsmiddelen zoowel aan het dieren- als aan het plantenrijk.

Om een denkbeeld te geven van de samenstelling van de voornaamste dier voedingsmiddelen, moge de nevensgaande tabel dienen. [1]

Op 100 deelen.	Eiwitstoffen.	Vetten.	Koolhydraten.	Minerale stof.	Water.
Rundvleesch	17	3		1.5	73
Schelvisch	13	4		1	81
Ei	13	12		1	73
Melk	4	4	4	0.5	86
Tarwemeel	13	1	64	0.8	12
Tarwebrood	9		45	([2])	43
Boonen	22	2	50	2	16
Rijst	5	0.5	83	0.5	9
Aardappels	1.3		16	1	73
Appels, peren, enz.	0.5		7.5	0.6	82
Wortelen	1.5		8	1.5	85

[3] Wanneer we nu beginnen met het vleesch, dan zien we dat eiwitstoffen daarin tot een aanzienlijk gehalte voorkomen, dat vleesch is een eiwitrijk voedingsmiddel. Vetten en zouten komen daarin in veel mindere hoeveelheid voor. Doch verreweg het grootste gedeelte van het vleesch, bijna $^3/_4$ van het gewicht, bestaat uit water.

Wij hebben hier het rundvleesch als type voor de samenstelling van alle vleeschsoorten aangenomen, en we mochten dat doen, omdat het scheikundig onderzoek leert, dat het vleesch van verschillende diersoorten in samenstelling slechts weinig uiteenloopt. De verschillen in water- of eiwitgehalte zijn betrekkelijk zeer gering, en in geen

[1] Waar, in deze tabel, onder een zekere rubriek niets is ingevuld, beteekent zulks dat de bedoelde stof in dat voedingsmiddel tot zulk een gering gehalte voorkomt, dat het voor onze voeding uit een praktisch oogpunt volslagen onbeduidend is.

[2] Het gehalte aan minerale stof van brood is natuurlijk zeer verschillend naar mate van het bijgevoegde zout.

[3] Het hier volgende (tot bl. 163) is ontleend aan het straks genoemde "Een en ander over voeding."

geval geven ze ons recht, uit een oogpunt van voedingswaarde de eene vleeschsoort ver boven de andere te verkiezen. Zoo is met name de gewone spreekwijs: kalfsvleesch is maar half vleesch, zeer onjuist. Hoogstens is bij jonge dieren het watergehalte iets grooter, maar dan is het ook nog maar een verschil van 3 à 4 procent. Daarmede is nu niet gezegd, dat kalfsvleesch en rundvleesch in alle opzichten gelijke voedingsmiddelen zijn, maar alleen, dat het gehalte aan voedingsstoffen niet zoo ver uiteenloopt als men doorgaans wel meent.

Een zeer in het oog vallend onderscheid tusschen kalfsvleesch en rundvleesch is dit, dat het eerste wit, het laatste rood is. Evenzoo zijn er een aantal andere dieren met wit vleesch. Dat onderscheid komt niet daar van daan, dat in het roode vleesch meer bloed achtergebleven is dan in het witte. Want als men een tam konijn, een dier met wit vleesch, doodt, zonder het bloed te laten uitvloeien, zoodat dus al het bloed in het lichaam terug blijft, dan zal toch het vleesch niet rood maar wit zijn. Omgekeerd worden onze runderen doorgaans geslacht door verbloeding, waarbij zooveel mogelijk van het bloed wegvloeit, en toch is het vleesch van die dieren donkerrood. Het roode vleesch heeft zijne kleur te danken niet aan het in de bloedvaten teruggebleven bloed, maar aan eene roode kleurstof in de spier zelf, die geheel overeenkomt met de bloedkleurstof.

Zooals ieder weet kan het vetgehalte van vleesch zeer uiteenloopen. In onze tabel is daarvoor aangegeven een gehalte van omstreeks 3 procent. Dit is de hoeveelheid vet in mager zuiver spiervleesch aanwezig, het vet n.l. voor zoover het bestanddeel is van de spiervezel zelf. Dit vet is niet als bestanddeel van het vleesch direct waarneembaar in den vorm van vetklompjes, maar is gelijkmatig door de spiermassa verdeeld.

In ons gewone slachtvleesch is echter doorgaans veel meer vet aanwezig dan 3 procent; 8, 10 tot 30 procent. Dit meerdere vet is echter op een andere wijze in het vleesch bevat. Het vleesch bestaat uit spiervezels. Dat zijn fijne mikroskopische draden, wier nadere bouw ons hier voorloopig niet aangaat. Die draden zijn tot bundels vereenigd; een aantal van die bundeltjes weer tot grootere bundels, en zoo vervolgens, tot dat eindelijk de geheele spier als een aggregaat van evenwijdig verloopende spiervezels te beschouwen

is. Die verschillende grootere en kleinere vezelbundels liggen echter niet onmiddellijk zonder tusschenstof naast elkaar, maar zijn door zoogenaamd bindweefsel, een voor het bloote oog draderig vliezig weefsel, onderling verbonden. Het bindweefsel vormt dus als het ware het geraamte van de spier, het vormt kokers en vliezen waarin de eigenlijke spierbundels besloten zijn. Bij magere dieren nu is dit bindweefsel vrij van vet, doch bij voldoende voeding kan zich daarin een groote hoeveelheid vet ophoopen, en dit is hetgeen bij ons gewone slachtvee altijd in meerdere of mindere mate plaats heeft. Dit vet vormt dus geen bestanddeel van de spiervezels zelf, maar is buiten en tusschen de spierbundels in klompen en lagen afgezet.

Gewoonlijk wordt nu aan vet vleesch de voorkeur gegeven boven mager vleesch, niet omdat het vleesch op zich zelf beter is dan bij mager vee; de spiervezel zelf, het eigenlijke bestanddeel van het vleesch, is bij allerlei dieren nagenoeg gelijk. Toch is er, afgezien van de voedingswaarde van het vet, waarop we nog nader terugkomen, wel eenige reden om vet vleesch boven mager te verkiezen. Het vette vleesch is namelijk voordeeliger dan het magere, het bevat, op gelijk gewicht, een grootere hoeveelheid voedingsstoffen, zooals uit het volgende gemakkelijk zal blijken. Mager vleesch bevat omstreeks 75 procent water. Een kilo van zulk vleesch bevat dus slechts $^1/_4$ kilo vaste stoffen, waaronder de eiwitstoffen en de overige voedingsstoffen; de rest is water. Het vetweefsel echter is veel armer aan water en bevat niet meer dan veertien procent daarvan. [1] Wanneer we dus één kilo vet vleesch hebben, dat b.v. voor $^1/_4$ uit vetweefsel bestaat, dan hebben we daarin $^3/_4$ kilo mager vleesch, eigenlijke spiervezel, met 75 procent water, en $^1/_4$ kilo vet met 14 procent water. Het valt ons licht in te zien dat het totale watergehalte van vet vleesch geringer is dan dat van mager vleesch; in het magere vleesch koopen wij voor ons geld een grootere hoeveelheid water.

Vergelijken wij b.v. de samenstelling van mager en vet vleesch zooals die in de tabellen van Letheby [2] wordt aangegeven, dan blijkt het volgende:

[1] Vergelijk: MOLESCHOTT, Physiologie der Nahrungsmittel, dl. 2, pag. 30, tab. XXXIII.
[2] Letheby. On Food.

	Water.	Eiwitstoffen.	Vet.
	pct.	pct.	pct.
Mager rundvleesch	72	19.3	3.6
Vet rundvleesch	51	14.8	29.8
Mager schapenvleesch	72	18.3	4.9
Vet schapenvleesch	53	12.4	31.1
Vet varkensvleesch	39	9.8	48.9

Het geringere watergehalte van vet vleesch komt hierin zeer goed uit.

Van allerlei dieren is het vleesch eetbaar. Slechts onder bijzondere ziekelijke omstandigheden kan het vleesch schadelijke eigenschappen verkrijgen. Wel is waar is aan sommige vleeschsoorten een onaangenaam riekend en smakend vet eigen, doch volslagen oneetbaar is geen enkel gezond dier. Daarmeê wil ik nu niet beweren, dat wij in dezen de Chineezen moeten navolgen, en aan honden en ratten ook eene plaats moeten gunnen op onze tafel, doch alleen er op wijzen, dat er tegenover één dier bij de meesten een zeer ongerechtvaardigd vooroordeel bestaat. Ik bedoel het gebruik van paardevleesch als voedingsmiddel. Dat het paardevleesch niet alleen niet schadelijk maar zelfs zeer smakelijk is, is reeds in 1856 door GEOFFROY SAINT-HILAIRE aangetoond. [1] En de bij het beleg van Parijs opgedane ervaringen hebben zijne resultaten ten volle bevestigd. In de meeste groote steden van ons land bestaan dan ook reeds paardenslachterijen, zoodat ieder dagelijks met het paardevleesch nader kennis kan maken.

Visch, een voedingsmiddel dat op onze lijst in de tweede plaats vermeld staat, is, wat zijne voedingswaarde betreft, tamelijk gelijk aan vleesch. Alleen is het watergehalte van visch doorgaans iets hooger en dus het gehalte aan voedende bestanddeelen iets geringer. Ook de verschillende soorten van visch loopen weinig uiteen, alleen het vetgehalte verschilt aanmerkelijk. Zoo b.v. zijn snoek, baars, schelvisch, schol zeer arm aan vet; haring, zalm, paling zeer vetrijk.

Ook in de eieren treedt het vetgehalte zeer op den voorgrond, iets wat voornamelijk is toe te schrijven aan den dooier; het eiwit op zich zelf is zeer arm aan vet. Doorgaans heeft men van de voe-

[1] Vergelijk zijne: Lettres sur les substances alimentaires.

dingswaarde van eieren een overdreven hoog denkbeeld, zooals o. a. blijkt uit de niet zelden gehoorde spreekwijze: een ei is zoo goed als een half pond vleesch. Was dit waar, dan zou er eene schromelijke wanverhouding bestaan tusschen den prijs van eieren en dien van vleesch. Doch een eenvoudige berekening leert, dat dit niet juist is, en dat men, om evenveel voedingsstoffen te hebben als bevat zijn in een half pond (250 gram) vleesch, niet één ei maar minstens zes eieren moest eten.

Een voedingsmiddel van dierlijken aard, dat zeer van de tot nog toe genoemden afwijkt, is de melk. Want terwijl in vleesch, visch en eieren, de suiker en daarmede verwante stoffen slechts in onbeduidende hoeveelheden aanwezig zijn, treedt in de melk de suiker meer op den voorgrond en vormt een belangrijk deel van de daarin aanwezige voedingsstoffen. Ten anderen is de melk een van onze waterrijkste voedingsmiddelen. Zelfs in normalen, onvervalschten toestand bedraagt haar watergehalte minstens 85 procent, en ieder weet dat in verreweg de meeste gevallen de verbruikers, althans in steden, zich met melk moeten vergenoegen, waarvan het watergehalte kunstmatig nog aanzienlijk verhoogd is. De algemeenheid van die melkvervalsching heeft dan ook aanleiding gegeven tot het ontstaan van eene omvangrijke literatuur over dit onderwerp, te meer nu in den laatsten tijd de aandacht nog sterker hierop gevestigd is, sedert de in Londen voorgekomen gevallen van typheuse ziekte, door melk verbreid. Deze melk toch was vervalscht met water dat typhus-smetstof bevatte.

Wij zullen ons hier in een uitvoerige beantwoording van de vraag: Is een contrôle van overheidswege op den melkverkoop doelmatig en uitvoerbaar? niet verdiepen, maar alleen opmerken dat het laatste woord in deze gewichtige zaak nog niet is gesproken, en dat een doelmatige contrôle in elk geval zeer moeielijk zou zijn. Want eensdeels is de melk een vloeistof die, ook zonder dat ze vervalscht wordt, meer variabel van samenstelling is dan men vroeger meende. De toestand, het ras, de voeding van het vee en allerlei andere omstandigheden hebben op de samenstelling van de melk grooten invloed, zooals onder anderen onlangs gebleken is uit het onderzoek van WOELCKER over de melk uit de omstreken van Londen. Deze vond b.v. dat het vetgehalte van de melk van gezonde dieren, al

naar gelang van de voeding, van 2 tot 9½ procent kan verschillen. [1] Een normaal cijfer voor de samenstelling van melk laat zich dus volstrekt niet vaststellen, en wilde men billijk zijn, dan zou men ter weêrszijden een vrij groote speelruimte moeten laten, welke speelruimte dan weer aan de mogelijkheid van vervalsching vrij spel laat.

Ten anderen moet erkend worden dat een zekere, voldoende en gemakkelijk uitvoerbare methode van onderzoek voor de melk nog niet is gevonden. De gewoonlijk gebruikte methoden van onderzoek beperken zich meestal tot de bepaling van een enkel bestanddeel, en leveren geene volledige kennis omtrent de samenstelling der melk.

Onder de plantaardige voedingsmiddelen verdient het brood ontegenzeggelijk de eerste plaats. In de oud-christelijke bede om het dagelijksch brood geldt het brood als representant van al wat tot onderhoud van het lichaam dient, als het voedingsmiddel bij uitnemendheid. Het Romeinsche gepeupel zag zijne behoeften bevredigd, als het maar brood had en circusvertooningen. Lang te voren, in den grijzen voor-historischen tijd, was de gewichtige uitvinding gedaan, een uitvinding die, zoo huisbakken ze ons in den volsten zin van het woord moge toeschijnen, toch in waarheid niet behoeft achter te staan bij die van stoommachine of telegraaf. Brood is in dubbelen zin het voedingsmiddel der beschaving. Eensdeels is de broodbereiding niet denkbaar zonder een zekeren trap van beschaving. Doch anderdeels gaat ook juist door de broodbereiding, door den verbouw en het verbruik van graanvruchten, de beschaving en ontwikkeling der maatschappij vooruit. Nergens komt dat beter uit, dan in eene rede die door CRÈVECOUR in den mond gelegd wordt

[1] Een referaat van WOELCKER'S onderzoek vindt men in de *Revue scientifique* 1874, XIV, 328.

Voor de overige bestanddeelen worden als maxima en minima opgegeven de volgende procent-gehalten: (n.l. voor koemelk)

Water	81.4 —	90.7.
Eiwitstoffen . .	2.4 —	5.3.
Suiker	3.2 —	6.5.
Zouten	0 5 —	1.1.

Bij zulke uiteenloopende gehalten van normale melk moeten de gevonden afwijkingen wel zeer groot zijn, als men daaruit met zekerheid tot vervalsching zal kunnen besluiten.

Vergelijk hierover ook *Scientific American* 1 April 1876.

aan een opperhoofd van een Noord-Amerikaanschen Indianenstam, en die ongeveer op hetzelfde neerkomt:

"Ziet ge niet dat de blanken leven van graankorrels en wij van "vleesch? dat het vleesch meer dan dertig maanden noodig heeft om "te groeien en dikwijls schaars is? Dat elk van de wonderbare kor- "rels die zij in de aarde strooien, hun meer dan honderd korrels "teruggeeft? Dat het vleesch waarvan wij leven vier beenen heeft om "te ontvluchten en wij maar twee om het in te halen? Dat de kor- "rels blijven en groeien waar de bleekgezichten ze zaaien? Dat de "winter, voor ons een tijd van moeitevolle jacht, voor hen een tijd "van rust is? Daarom hebben zij meer kinderen, en leven zij lan- "ger dan wij. En daarom zeg ik aan ieder die mij hooren wil: voor "dat de cederen rondom onze wigwams van ouderdom zijn ingestort, "voor dat de ahornboomen in het dal zullen ophouden ons suiker "te leveren, zullen de stammen der kleine bleeke korrelzaaiers de stam- "men der roode vleescheters verdelgd hebben, tenzij onze jagers ook "besluiten om te zaaien."

Niet alleen voor de geschiedenis van zijn stam, maar voor den ontwikkelingsgang der geheele menschheid had die wilde denker, die roode professor der sociologie, gelijk. Meelvruchten verbouwen en brood bakken sluit in zich vaste woonplaatsen, eigendom, stedenvorming, kortom alles wat noodzakelijk is voor de ontwikkeling der beschaving, de wording der maatschappij.

Boomvruchten kunnen dit niet in die mate doen als de graanvruchten. Ze zijn minder gemakkelijk te bewaren; ze groeien niet zoo gezellig, ze groeien niet in elk klimaat, ze groeien langzamer. Om een boom te kweeken die eerst over tien jaren vrucht geeft, is een hooger standpunt van ontwikkeling noodig, dan om graan te verbouwen, waarvan men over eenige maanden den oogst kan te gemoet zien.

Brood wordt van meel gemaakt. Maar brood en meel is niet hetzelfde. En niet elke meelsoort is voor broodbereiding even geschikt. Ten dezen aanzien valt het volgende op te merken. In het meel der graanvruchten, en voornamelijk in het tarwemeel, is onder de eiwitstoffen een stof aanwezig, die den naam draagt van gluten. Dit gluten heeft de eigenschap, met water op te zwellen tot een taaie rekbare stof. Van daar dat het tarwemeel door kneden met water tot

een deeg wordt. Hoe meer van dit gluten in een zeker meel aanwezig is, des te beter is het tot het maken van een deeg geschikt. Dat rauwe deeg zou echter zeer weinig verteerbaar zijn, want zooals we vroeger hebben opgemerkt, wordt het rauwe zetmeel in ons spijskanaal niet gemakkelijk tot suiker omgezet. Daarom moet het deeg verhit, gebakken worden. Maar bij die verhitting zou het grootendeels uitdrogen tot een harde, hoornachtige, oneetbare en onverteerbare massa. Dat wordt nu voorkomen doordat bij het deeg gist wordt gevoegd. Die gist bewerkt in het brood een suikergisting, waardoor o. a. koolzuur ontstaat. Dit gas doet het deeg opzwellen, er ontstaan in het kleverige, taaie glutendeeg tallooze kleine met koolzuur gevulde holten. Daardoor wordt voorkomen dat het deeg bij het bakken samenvalt en indroogt; het blijft los en sponsachtig en daardoor beter verteerbaar. Alles wat vóór en bij het bakken met het meel gebeurt, heeft ten doel om het beter verteerbaar te maken. Daartoe ondergaat het meel, wat zijn scheikundige samenstelling betreft, voornamelijk twee wijzigingen. Ten eerste wordt er water bijgevoegd, en daar dat bijgevoegde water bij het bakken niet geheel weer verdampt, is dus het brood rijker aan water, en weegt een zekere hoeveelheid brood meer dan het meel waaruit het bereid is. Ten anderen echter gaat er een bestanddeel van het meel gedeeltelijk verloren, n.l. de suiker, die bij het rijzen tot vorming van het koolzuur verbruikt wordt. Doch dit verlies is betrekkelijk slechts gering.

Met betrekking tot de voedingswaarde van brood is een zeer belangrijke vraag deze: Wat is beter, brood van gebuild of van ongebuild meel? Is de voorkeur die wij schenken aan het witte brood van gebuild meel gerechtvaardigd? Of is het minder uitziende grauwe brood van ongebuild zemelhoudend meel beter? Die vragen kunnen verschillend beantwoord worden. Tot een juiste beoordeeling in dezen merken we het volgende op: De bestanddeelen van de graankorrel zijn niet gelijkmatig door de korrel heen verdeeld. Met name is dit het geval met de eiwitstoffen en de phosphorzure zouten, die meer in de buitenste lagen dan in de binnenste aanwezig zijn. Die buitenste lagen nu blijven, bij het pellen en malen, aan de schil vastzitten en worden dus met de zemelen door het builen verwijderd, zoodat in het zemelvrije bloem van meel, uitsluitend uit de binnenste

deelen van de graankorrels bestaande, betrekkelijk weinig phosphorzure zouten enz. voorkomen.

Om een denkbeeld te geven van dit verschil tusschen bloem van meel en zemelen moge het volgende van MOLESCHOTT overgenomene tabelletje dienen.

In 1000 deelen.

	Tarwemeel.	Tarwezemelen.
Eiwitstoffen	127	162
Celstof	3	211
Zetmeel en verwante stoffen	723	402
Vet	12	40
Zouten	8	44
Water	124	138.

Brood van gebuild meel is dus minder rijk aan twee zeer noodzakelijke bestanddeelen van onze voeding, eiwitstoffen en zouten, en uit dat oogpunt zou het bij ongebuild meel moeten achterstaan.

Doch bij de beoordeeling van de waarde van een stof als voedingsmiddel kan niet alleen de scheikundige analyse beslissen, maar moeten ook andere omstandigheden in aanmerking worden genomen. De zemelen bevatten een groote hoeveelheid onverteerbare celstof in den vorm van de harde volkomen onoplosbare schillen. Niet alleen dus dat we daaraan voor onze voeding niets hebben, maar de scherpe harde stukjes schil zullen ook in het spijskanaal een mechanische prikkeling uitoefenen, die tot stoornis van de normale verrichtingen kan leiden, en met name tot een overmatig versterkte beweging van het spijskanaal, waardoor diarrhoea ontstaat. En door dit nadeel wordt het voordeel, dat het zemelbrood wegens zijn grooteren rijkdom aan voedingsstoffen ons aanbiedt, meer dan opgewogen. De ervaring leert dan ook dat menschen, die zich niet in een bijzonder krachtig spijskanaal mogen verheugen, het zemelbrood op den duur niet verdragen. Voor iemand die niet van brood alleen behoeft te leven, is het dus beter brood van gebuild meel te eten, en het gemis aan eiwit, wat hij daardoor lijdt, door het eten van andere eiwitrijke voedingsmiddelen te vergoeden. Voor omstandigheden echter waarin brood het uitsluitende voedingsmiddel moet zijn, zal het eerder raadzaam zijn zich het nadeel van de zemelen te getroosten om het verlies van het zoo noodzakelijke eiwit te voorkomen.

Tot de graanvruchten moet ook gerekend worden de rijst. Dit

is een voedingsmiddel dat niet al te gering moet geschat worden, zooals wel eens gebeurt. In elk geval staat het in voedingswaarde zeer ver boven aardappelen, zooals volgens onze tabel uit de samenstelling blijkt. Bovendien heeft de rijst nog dit voordeel, dat ze van alle graanvruchten, die als heele korrels gebruikt worden, de gemakkelijkst verteerbare is, omdat ze minder rijk is aan harde onverteerbare celstof.

Tegenover de graanvruchten staat een andere groep van plantaardige voedingsmiddelen, die we onder den naam van groenten zouden kunnen samenvatten. Ook tegen de meesten van dezen heerscht een ongegrond vooroordeel, voor zoover men ze beschouwt als spijzen zonder veel beteekenis, die alleen omdat ze lekker smaken gebruikt worden. En waar is het, dat de meeste van die groenten arm zijn aan eigenlijke voedingsstoffen en grootendeels uit water bestaan, maar daarom zijn ze nog niet zonder beteekenis. Men zou de groenten uit een diëtetisch oogpunt kunnen verdeelen in de volgende drie groepen:

1°. Voedende groenten, waarin het gehalte aan voedingsstoffen niet al te gering is. Hiertoe moeten in de eerste plaats gebracht worden de boonen en erwten, die zelfs tot de eiwitrijkste plantaardige voedingsmiddelen behooren. Verder o. a. aardappels, wortelen, bieten enz., bij welke de eiwitstoffen wel is waar zeer op den achtergrond treden, maar waarin toch een aanzienlijke hoeveelheid zetmeel of suiker aanwezig is. Vergelijkt men met elkander boonen en aardappels, dan leert een eenvoudige berekening, dat de tegenwoordige prijzen dier voedingsmiddelen niet in overeenstemming te brengen zijn met hunne voedingswaarde. Wanneer men een zekere som gelds aan boonen besteedt, dan heeft men daarin 2 à 3 maal meer eiwit en evenveel zetmeel, als wanneer men diezelfde som aan aardappels besteedde. De boonen zijn dus in vergelijking met de aardappels te goedkoop. Doch voor een gedeelte wordt dit voordeel van de boonen weer opgewogen door hare mindere verteerbaarheid, en door de aanwezigheid van een groote hoeveelheid taaie onverteerbare schil, onnoodige ballast die men met de boonen mede koopt. Wanneer hier sprake is van boonen, dan worden daarmede alleen bedoeld de eigenlijke plantenzaden van dien naam, en niet de peulen waarin ze besloten zijn. Deze peulen worden in sommige geval-

len, zooals bij de slaboonen en snijboonen, ook wel als voedsel gebruikt, doch zijn veel wateriger en minder rijk aan voedingsstoffen dan de boonen zelf.

2°. Een andere groep van groenten zou men kunnen noemen de aromatische. Deze worden niet zoozeer om hun gehalte aan voedingsstoffen gebruikt, als wel om hun gehalte aan prikkelende, sterk smakende of riekende stoffen. Zoo bijv. uien, knoflook, prei, peterselie, enz. Deze dienen eenigermate als specerijen, voor zoover hunne eigenaardige bestanddeelen de afscheiding van spijsverteringssappen bevorderen, en zoodoende de verteerbaarheid der spijzen waarbij ze gebruikt worden verhoogen. Vandaar het gebruik van uien bij vleesch, vooral wanneer het eenigszins taai is.

3°. Ook bij de laatste groep van groenten treden de eigenlijke voedingsstoffen zeer op den achtergrond, zonder dat ze daarom voor onze voeding zonder beteekenis zijn. Hiertoe behooren o. a. kool, sla, spinazie, enz., allen groenten die 90 en meer procent water bevatten, en dus onmogelijk veel voedingsstof kunnen bevatten. Ze zijn echter allen betrekkelijk zeer rijk aan zouten met zoogenaamde organische zuren: wijnsteenzuur, appelzuur, zuringzuur, enz. Ook deze zouten kunnen bevorderend op de spijsvertering werken, voor zoover ze de noodzakelijke bewegingen van den darm aanwakkeren. Ieder weet dan ook, dat men menschen met trage beweging van hun spijskanaal, lijders aan verstopping, het gebruik van zulke groenten dikwijls aanraadt.

Bij deze beide laatste groepen van groenten zijn het dus niet zoozeer de voedingsstoffen als wel andere bijkomende bestanddeelen waarom ze gebruikt worden. Nu zijn deze bestanddeelen voor het meerendeel in water oplosbaar, en dat geeft ons aanleiding, nog op het volgende opmerkzaam te maken. Bij het koken met water worden juist die oplosbare bestanddeelen door het water uitgetrokken; en wanneer nu de groenten met een rijkelijke hoeveelheid water gekookt en dat water vóór het opdienen afgegoten en weggeworpen wordt, dan gaan daarmeê voor een groot deel juist die stoffen verloren, waarom men de groente gebruikt.

V.

VOEDINGSLEER.

De vijf groepen van voedingsstoffen moeten in een behoorlijke voeding allen vertegenwoordigd zijn. Een er van op zichzelf is onvoldoende. Dat ondervond reeds in het laatst der zeventiende eeuw, de Engelsche natuuronderzoeker WILLIAM STARK, die de voedingswaarde van verschillende voedingsstoffen wilde onderzoeken, en daartoe een tijdlang alleen van suiker leefde, met dat gevolg, dat hij door die onvoldoende eenzijdige voeding ziek werd en stierf. Met elke voedingsstof op zichzelf zou trouwens hetzelfde gebeurd zijn, iets wat reeds voor langen tijd door MAGENDIE en TIEDEMANN, door proeven op dieren, is aangetoond. Wanneer een dier gevoed wordt met zuiver vet of zuiver eiwit, dan gaat het onvermijdelijk na korter of langer tijd te gronde, al wordt hem van dat voedsel ook nog zoo veel aangeboden.

En niet alleen is één voedingsstof onvoldoende, maar ook twee of drie; zij moeten juist alle vijf vertegenwoordigd zijn. Alleen vetten en koolhydraten kunnen elkaar tot op zekere hoogte vervangen. Zelfs de minerale stoffen, die toch in zulk een kleine hoeveelheid slechts aanwezig zijn, zijn even goed onontbeerlijk; is het voedsel te arm aan keukenzout, aan phosphorzure kalk, enz., dan ontstaan spoedig ziekelijke toestanden, die eerst verdwijnen, wanneer de ontbrekende stof weer in voldoende hoeveelheid wordt toegevoegd.

En met betrekking tot de doelmatige voeding van den mensch geldt van de voedingsmiddelen in dit opzicht hetzelfde als van de voedingsstoffen. Geen enkel voedingsmiddel is er bekend, dat met uitsluiting van alle andere voor de voeding van den volwassen mensch gedurende onbepaalden tijd voldoende mag heeten.

Wanneer we willen weten of een zekere voeding voor een lichaam onder bepaalde omstandigheden voldoende is, dan is een eerste vereischte, dat we dagelijks het gewicht van het lichaam onderzoeken. Vermindert dat gewicht, dan is het een bewijs dat de

voeding onvoldoende is; wordt het meer, dan volgt daaruit dat de voeding meer dan voldoende is, dat het lichaam groeit. Doch al blijft het lichaamsgewicht gelijk, dan volgt daaruit nog niet met zekerheid, dat de voeding voldoende is. Bij gelijkblijvend lichaamsgewicht is natuurlijk het totaal-gewicht van de ontvangsten gelijk aan het totaal-gewicht der uitgaven; wat in het lichaam komt (voedsel plus zuurstof) weegt *a* kilo, en wat het lichaam verlaat (uitscheidingsproducten) weegt ook *a* kilo. Doch nu laat zich het geval denken, dat onder de ontvangsten voorkomt bijv. een zekere hoeveelheid water, die we onder de uitgaven niet geheel terugvinden; zoodat in het lichaam water teruggehouden, het lichaam waterrijker wordt. Daarom kan toch het lichaamsgewicht wel gelijk blijven, wanneer maar van andere stoffen, bijv. van stikstofhoudende stoffen, meer wordt uitgegeven dan ontvangen. Wanneer bijv. 50 gram water in het lichaam teruggehouden werd, dan zou daardoor het lichaam 50 gram zwaarder worden; maar wordt nu gedurende denzelfden tijd 50 gram eiwit meer verbruikt dan er ontvangen wordt, dan zullen die verschillen elkaar compenseeren. Het totaal-gewicht der ontvangsten en dat der uitgaven kan gelijk zijn, en toch is het lichaam van samenstelling veranderd, het is armer aan eiwit en rijker aan water geworden.

Dus onze balans van inkomsten en uitgaven van het lichaam moet zoodanig ingericht zijn, dat niet alleen de totalen van ontvangst en uitgaaf elkaar dekken, maar ook de aparte posten. Bijv. de hoeveelheid koolstof, die in het koolzuur en de andere omzettingsproducten het lichaam verlaat, moet gelijk zijn aan de hoeveelheid koolstof, die met het voedsel gedurende dien tijd in het lichaam is gekomen, evenzoo voor de stikstof, de waterstof, enz. Eerst wanneer we voor al die afzonderlijke posten evenwicht van inkomsten en uitgaven kunnen aantoonen, kunnen we zeggen dat de voeding onder die omstandigheden voor het lichaam voldoende is.

Zulk een onderzoek is niet gemakkelijk. Het individu, dat aan zulk een proef wordt onderworpen, moet onder omstandigheden geplaatst zijn, die veroorloven alles wat het lichaam in- en uitgaat nauwkeurig te onderzoeken. Het gewicht en de samenstelling van het voedsel moet worden bepaald, evenzoo de hoeveelheid opgenomen zuurstof en afgegeven koolzuur, verder al het water wat als vloeistof of als damp het lichaam in- en uitgaat, de bestanddeelen van urine

en excrementen, enz. Zoodoende worden zulke proeven over stofwisseling omslachtige, langwijlige onderzoekingen.

Reeds zijn echter door zulke onderzoekingen, die vooral gedaan zijn door PETTENKOFER en VOIT te Munchen, belangrijke resultaten verkregen.

Vooreerst o. a. is daaruit gebleken, dat niet alle stoffen in het lichaam even gemakkelijk verbruikt en omgezet worden. Wanneer bijv. een dier volslagen honger lijdt, dan zijn de ontvangsten (afgezien natuurlijk van de ingeademde zuurstof) gelijk nul. De uitgaven zijn niet gelijk nul, de afscheiding van verbruikte stoffen gaat niettegenstaande den honger voort. Daardoor wordt het deficit telkens grooter, het lichaamsgewicht neemt af. Nu is echter dat verbruik van stof niet gelijkmatig. In de eerste hongerdagen wordt er veel verbruikt, doch al spoedig neemt dat verbruik af, en daalt tot een minimum, waarop het verder min of meer constant staan blijft. Dit laat zich aldus verklaren, dat een gedeelte van de bestanddeelen van ons lichaam meer aantastbaar is, meer vatbaar voor omzetting dan het overige. Dit gemakkelijk aantastbare gedeelte heet de v o o r r a a d, het meer stabile, minder aantastbare, heet de o r g a a n m a s s a. Die voorraad nu wordt bij honger in korten tijd opgebruikt, vandaar het sterke verbruik in de eerste hongerdagen. Wordt nu de voorraad door de voeding niet weer aangevuld, dan leeft het lichaam verder van de massa zijner organen, die echter veel langzamer worden omgezet dan de voorraad; van daar het geringe verbruik op de volgende hongerdagen.

Wij hebben het nu tot op zekere hoogte in onze macht, om òf den voorraad, òf de orgaanmassa te doen toenemen. Hoe rijkelijker de voeding is, des te grooter zal ook in het algemeen de voorraad zijn, des te grooter is de hoeveelheid stof, die voor direct verbruik beschikbaar is. Doch nu kan onder sommige omstandigheden een gedeelte van het opgenomen voedsel uit den voorraad in de orgaanmassa overgaan, en zoodoende een blijvend lichaamsbestanddeel worden. Hierop is in de eerste plaats de aard van het voedsel van invloed.

De proeven van VOIT hebben geleerd, dat wanneer men een dier voedt met nagenoeg zuiver eiwit (bijv. mager vleesch), bij die voeding het dier slechts onbeduidend of in het geheel niet aan gewicht toeneemt, ook al krijgt het groote hoeveelheden eiwit. Al het toe-

gevoerde eiwit strekt alleen om den voorraad te vermeerderen, het wordt verbruikt naarmate het wordt toegevoerd, en de massa der organen, het lichaamsgewicht, neemt daardoor niet toe. Het is dan ook een bekend feit, dat menschen of dieren, die zich overwegend met eiwit voeden, niet bijzonder vet en zwaar worden, en dat zelfs bij de zoogenaamde Bantingkuur het bijna uitsluitend gebruik van mager vleesch juist als een middel tegen zwaarlijvigheid wordt aangewend.

Wanneer we nu het lichaamsgewicht willen doen toenemen, dan moet een gedeelte van het toegevoerde voedsel niet onmiddellijk verbruikt maar in het lichaam opgestapeld worden. Dit zouden we, zooals uit het bovenstaande blijkt, door een voeding met overwegend eiwit niet verkrijgen. We moeten integendeel de hoeveelheid eiwit in het voedsel inkrimpen, en vet en koolhydraat op den voorgrond doen treden. Nu zal de omzetting in het lichaam hoofdzakelijk ten koste van vet en koolhydraat geschieden; die stoffen zullen in plaats van het eiwit verbruikt worden, en een meer of minder groot gedeelte van het in het voedsel toegevoerde eiwit zal onverbruikt blijven en zich bij de orgaanmassa kunnen voegen, hetzij in den vorm van eiwit, hetzij in dien van vet.

Dat eiwit aanleiding kan geven tot de opstapeling van vet in het lichaam schijnt vreemd, maar is toch het betrouwbare resultaat der nieuwere onderzoekingen. Het vet in het lichaam ontstaat niet uit het vet van het voedsel. Dit laatste wordt spoedig na de opneming verbruikt en omgezet, en blijft niet als zoodanig in het lichaam. Het vet dat in het lichaam aanwezig is, is in het lichaam zelf ontstaan en wel uit eiwit.

Is dan in het voedsel van ons slachtvee zooveel eiwit aanwezig? Genoeg om al het vet, dat bij den dood in het vetgemeste dier aanwezig is, te vormen. Men bedenke, dat in het gras vrij wat eiwit aanwezig is, en dat een koe gedurende de maanden, dat ze wordt vetgemest een kolossale hoeveelheid gras tot zich neemt; dat de karnemelk waarmeê het varken wordt gemest (met toevoeging van zetmeelrijke aardappels) een eiwitrijke vloeistof is. Zelfs heeft men de directe berekening gemaakt van de hoeveelheid eiwit, die in het voedsel van een varken gedurende zijn vetmesting aanwezig was, en daarmeê vergeleken de hoeveelheid eiwit en vet, die het dier ge-

durende de vetmesting had gewonnen, en dan bleek die hoeveelheid eiwit in het voedsel meer dan voldoende te zijn, om het ontstaan van het eiwit en vet in het lichaam te verklaren.

Vroeger vond men in populaire en andere boeken dikwijls groote tabellen en berekeningen over de voedingswaarde van verschillende soorten van voeding, waarbij eenvoudig tot grondslag was genomen het gehalte aan voedingsstoffen zooals de scheikundige analyse dat leerde. En ik zou niet durven beweren dat niet nog wel hier en daar zulke berekeningen te vinden zijn. Doch die grondstelling is onjuist; uit het gehalte van een voedingsmiddel aan voedingsstoffen volgt niet direct de voedingswaarde. De theoretische scheikundige voedingswaarde is niet dezelfde als de praktische physiologische voedingswaarde. Of een lichaam 100 gram eiwit krijgt in den vorm van vleesch of in dien van roggebrood zal bij lange na niet hetzelfde zijn. Bij de bepaling van de physiologische voedingswaarde van een stof komen allerlei omstandigheden in aanmerking, die uit de chemische samenstelling nog niet zoo voetstoots volgen.

Zoo b.v. is het aangetoond dat terwijl uit vleesch bijna alles verteerd en opgenomen wordt, bij een voeding met brood, vooral met roggebrood, een groot gedeelte van het daarin aanwezige eiwit en zetmeel onverteerd met de excrementen het lichaam meê verlaat, en dat dus niet de geheele hoeveelheid voedingsstof, die in het brood aanwezig is, werkelijk aan het lichaam ten goede komt. De oorzaak hiervan ligt voor een deel hierin, dat in het brood onverteerbare harde stukjes plantenweefsels aanwezig zijn (zemelen) die het spijskanaal mechanisch prikkelen, en daardoor tot een sterkere beweging aanzetten, zoodat het voedsel het spijskanaal sneller doorloopt. Voor een ander deel is hierbij in het spel de vorming van melkzuur en boterzuur door gisting van een deel van het in brood aanwezige zetmeel; ook hiervan zal een snellere beweging van het darmkanaal het gevolg zijn.

Nog een andere voorname omstandigheid, waarop tot nog toe veel te weinig de aandacht is gevestigd, komt bij de beoordeeling van de voedingswaarde insgelijks zeer in aanmerking. Wanneer een voedsel smakeloos, laf, flauw, uitgekookt is, dan is het niet alleen voor

onze smaakorganen minder aangenaam, maar het wordt ook minder goed verteerd. In elk voedsel moeten aanwezig zijn prikkels, die door versterkte afscheiding van verteringssappen of op andere wijze de digestie bevorderen. Zulke prikkels kunnen zijn natuurlijke, die in het voedingsmiddel zelf aanwezig zijn (b.v. de aromatieke stof van uien) of zich gedurende de bereiding vormen (b.v. de stoffen die den smaak en geur van gebraden vleesch veroorzaken), of het kunnen zijn kunstmatig bijgevoegde prikkels, met één woord s p e c e r i j e n, zout, peper, mosterd enz. Een zeker gehalte van het voedsel aan dergelijke prikkels schijnt voor een behoorlijke vertering en opneming van groot belang te zijn, ofschoon de eigenlijke werking van deze stoffen op het lichaam nog verre van volledig bekend is.

Dat natuurlijk bij de beoordeeling van de voedingswaarde ook de toestand van het individu, waarvoor het voedsel bestemd is, in aanmerking komt, spreekt van zelf. Een stuk gebraden vet varkensvleesch zal voor den zwakken reconvalescent een geheel andere voedingswaarde bezitten dan voor den krachtigen arbeider.

Als een bewijs hoe weinig wij nog in het bezit zijn van een wetenschappelijke voedingsleer, moge strekken dat zelfs van onze voornaamste voedingsmiddelen de physiologische voedingswaarde nog zeer onvolkomen bekend is, en dat een tal van stelselmatige onderzoekingen nog noodig zullen zijn, om ons dienaangaande een betere kennis, die iets hooger staat dan ruwe empirie, te verschaffen.

C. 28