

Het bloed stroomt ...

Het bloed stroomt ... Theorie

Wil Laval
Cees Walst

eerste druk, 2002



Artikelcode: 23038.2

Colofon

Auteurssteam Wil Laval, Cees Walst
Redactie Studio Maan, Feico Hoekstra, Michelle Heinen
Illustraties LOI
Illustrator Rob Derks

© 2002 LOI, Leiderdorp, Nederland

De copyrights op dit materiaal berusten bij het LOI te Leiderdorp, het materiaal wordt onder licentie uitgegeven door het Ontwikkelcentrum te Ede.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Ontwikkelcentrum.

Voorwoord

Deze uitgave bevat de onderwijseenheid 'Anatomie, fysiologie en pathologie b' van de deeltkwalificatie Anatomie, fysiologie en pathologie. Voor de onderwijseenheid is er een uitgave met opdrachten en bronnen en een uitgave met theorie.

Opdrachten

Aan het begin van elke opdracht staat het opdracht doel. Daar staat wat je aan het einde van de opdracht moet kunnen. De opdrachten bevorderen de zelfwerkzaamheid. Met de opdrachten kun je je kennis in de praktijk toetsen of bepaalde vaardigheden trainen. Als je alle opdrachten met voldoende resultaat hebt uitgevoerd, beheers je de stof.

Bronnenoverzicht

Om de opdrachten uit te voeren heb je informatie nodig. Hiervoor kun je het bijbehorende theorieboek gebruiken. Maar je kunt ook andere bronnen raadplegen. In het bronnenoverzicht staat waar je allemaal informatie kunt vinden over bloed, het circulatieapparaat en het ademhalingsapparaat. Dit kunnen boeken zijn, maar ook vakbladen, folders, video's, het internet, et cetera.

Theorie

Het theorieboek bevat de theorie die je het meest nodig hebt en die niet gauw verandert. Om het bestuderen en verwerken van de tekst gemakkelijker te maken kun je aan het einde van elke paragraaf verwerkingsvragen maken.

Wij wensen je veel succes bij het werken met deze uitgave.

De auteurs

Inleiding

Een dierenartsassistent(e) dient een grondige kennis te hebben van de anatomie en fysiologie van weefsels en orgaansystemen zoals het bloed, het circulatieapparaat en het respiratie- of ademhalingsapparaat. Kennis hierover is onontbeerlijk bij het assisteren tijdens spreekuren en bij operaties, het verlenen van eerste hulp en het verrichten van bloedonderzoek. Zowel het bloed, het circulatie- en het respiratieapparaat hebben in het lichaam een transportfunctie. Ze transporteren voedingsstoffen, water, zuurstof, kooldioxide en afvalstoffen.

In hoofdstuk 1 worden de samenstelling en de taken van het bloed besproken, waaronder de transportfunctie, het regelen van de lichaamstemperatuur, de bloedstolling en het afweersysteem. Hoofdstuk 2 gaat over het circulatieapparaat. De belangrijkste punten van de bouw en werking van het hart komen hierin aan de orde. Ook wordt er ingegaan op het verschil tussen de grote en de kleine bloedsomloop. Hoofdstuk 3 behandelt ten slotte het ademhalingsapparaat. Hierin wordt uiteengezet uit welke onderdelen het bestaat en hoe de gaswisseling werkt.

Inhoud

Voorwoord 5

Inleiding 6

1 Bloed 9

- 1.1 Bloedcellen en bloedplasma 9
- 1.2 Transport 11
- 1.3 Stolling 14
- 1.4 Afweer 15
- 1.5 Afsluiting 23

2 Het circulatieapparaat 25

- 2.1 Het hart 25
- 2.2 Slagaders, haarvaten en aders 34
- 2.3 Lymfevaten en lymfeknopen 37
- 2.4 De ligging van het circulatieapparaat 38
- 2.5 Afsluiting 44

3 Het ademhalingsapparaat 45

- 3.1 Neus, keel en strottenhoofd 45
- 3.2 Luchtpijp, bronchiën en longen 48
- 3.3 Ademhaling 53
- 3.4 Afsluiting 56

Trefwoordenlijst 59

1 Bloed

Oriëntatie

Iedereen heeft wel eens een wondje aan een been, arm of een ander lichaamsdeel. Wie heeft niet zichzelf wel eens in de vinger gesneden, zelfs zo erg dat het bloed er uit stroomde? Dat bloed rood is, weten we allemaal. Maar wat geeft het bloed eigenlijk zijn kleur? Heb je je dat wel eens afgevraagd? En hoe kan het dat op een gegeven moment het bloeden toch stopt? Je zult dan misschien zeggen dat er een korstje op de wond kwam. Dat klopt. Bloed is namelijk zo samengesteld dat een wond op den duur vanzelf weer heelt. Dit helen van wonden is dan ook een belangrijke functie van bloed.

Maar het is zeker niet de enige functie. Kort samengevat heeft bloed drie belangrijke hoofdtaken in een lichaam. Behalve het repareren van beschadigde bloedvaten, zorgt het bloed voor het transport van allerlei stoffen en geeft het bescherming tegen indringers. Bloed is daarmee zó belangrijk dat mensen en dieren niet zonder kunnen. Het bloed stroomt door het hele lichaam, een hele leven lang en 24 uur per dag.

1.1 Bloedcellen en bloedplasma

bloedlichaampjes

Zoals je weet bestaat het bloed, net als alle andere weefsels, uit cellen en tussencelstof. De cellen zijn rode bloedcellen (*erythrocyten*), witte bloedcellen (*leucocyten*) en bloedplaatjes (*trombocyten*). Bloedcellen worden ook wel *bloedlichaampjes* genoemd. De rode bloedcellen worden in het beenmerg gemaakt, de witte bloedcellen voornamelijk in het beenmerg, de thymus, de lymfeknopen en de milt. Op dit laatste orgaan, de milt, wordt wat dieper ingegaan bij de behandeling van de rode en witte bloedcellen. Daarna wordt de functie van de tussencelstof of bloedplasma behandeld.

De milt

Witte bloedcellen worden in de *milt* gemaakt. De milt is een bruinrood orgaan dat links in de buikholte ter hoogte van de lendenen ligt. Hij wordt ook wel *lien*, uitgesproken als li-en, of *splenos* genoemd.

De vorm van de milt bij hond en kat is grofweg een platte ovaal. Een grote hond heeft een milt van ongeveer twee flinke handen lang. Bij palpatie, dus het bevoelen van de buik, is de milt te voelen. Er loopt één grote slagader naar toe, de *arteria lienalis*, en één grote ader komt er vandaan, de *vena lienalis*.

De milt is omgeven door een kapsel van bindweefsel. Door de microscoop gezien, ligt binnen het kapsel een netwerk van reticulair bindweefsel, *rode pulpa* genaamd, met daarin grote wijde aders of *sinussen*. Overigens ontbreken deze sinussen bij een kat. Verspreid door het reticulaire bindweefsel liggen bolletjes witte bloedcellen of *witte pulpa*. De milt maakt hierin de witte bloedcellen, oftewel de leucocyten. Bij lagere dieren worden in de witte pulpa ook rode bloedcellen of erythrocyten

aangemaakt. Bij de zoogdieren maakt alleen het rode beenmerg de rode bloedcellen. Ze leven ongeveer honderd dagen. Daarna zijn ze versleten en worden door de milt vernietigd. Dit gebeurt in de rode pulpa.

De vernietiging van de versleten erythrocyten vindt behalve in de milt ook in de lever en het beenmerg plaats. Het hemoglobine wordt daarbij afgebroken tot bilirubine, dat een sterk gele kleur heeft. De milt geeft het bilirubine af aan het bloedplasma. Het bloed voert dit vervolgens naar de lever, waar het wordt omgezet in gal. Via de galblaas komt het bilirubine in de darm, waar het helpt met de vetvertering.

Bij een dier in rust bevat de milt ook veel nog goed werkende rode bloedcellen. Er is dan niet veel vraag naar zuurstof. Als er echter langdurige inspanning van het lichaam wordt geëist, is er meer zuurstof nodig en dus moeten de rode bloedcellen harder werken. Duurt de inspanning nog wat langer, dan brengt de milt extra rode bloedcellen in de circulatie door samen te trekken. Het gevoel dat deze samentrekking oplevert is je waarschijnlijk wel bekend. Het zijn de steken in de zij die je voelt als je een poos hardloopt.

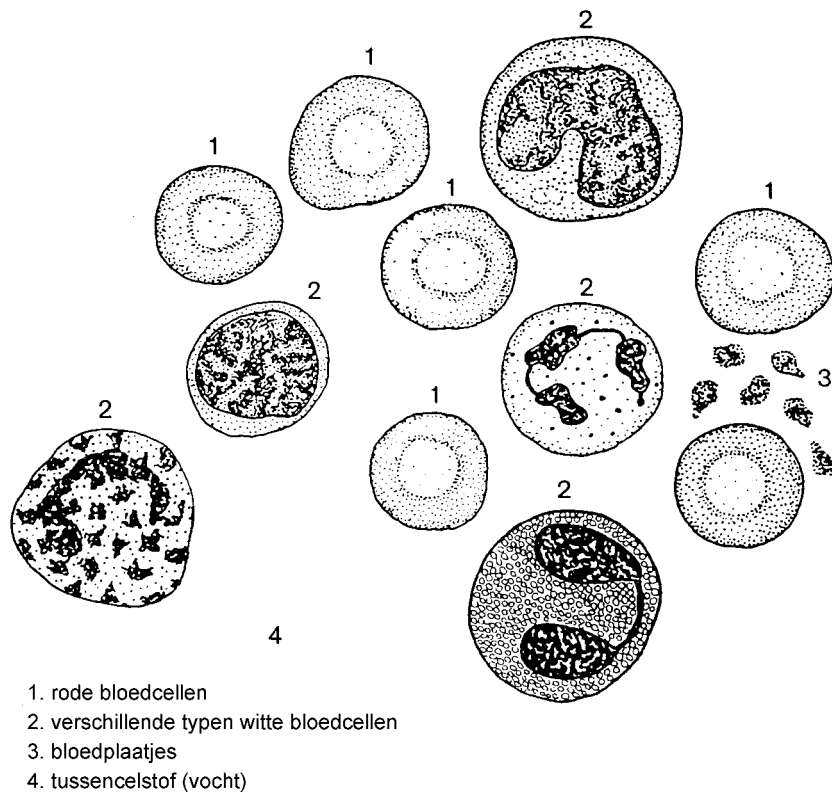
Bloedplasma

De tussencelstof van bloed noem je *bloedplasma*. Bloedplasma is de vloeistof die overblijft als alle cellen en bloedplaatjes uit het bloed verwijderd zijn. Het bestaat, net als de tussencelstof van alle weefsels, uit water waarin een groot aantal stoffen zijn opgelost. Bloedplasma verkrijgt je als je bij een dier bloed afneemt, een bloedstollingremmend middel ofwel een anticoagulans toevoegt en het bloed dan enige tijd laat staan in een buisje. De cellen zakken dan door hun gewicht naar beneden. Erboven blijft een stro-gele vloeistof over. Dat is het bloedplasma.

Als je geen anticoagulans, zoals bijvoorbeeld heparine toevoegt, zal het bloed stollen voordat de cellen de gelegenheid krijgen uit te zakken. In eerste instantie vormt zich dan een dikke rubberachtige massa. Dit noem je een stolsel. Na enige tijd zullen de stollingseiwitten, die verderop in dit hoofdstuk nog uitgebreid worden behandeld, zich gaan samentrekken. Het vocht dat in het bloedstolsel aanwezig is wordt eruit geperst. Het resultaat is dat vrij droog stolsel overblijft met daarboven een vloeistof, *serum*, die ook weer strokleurig is. Dit zogeheten *serum* bevat geen cellen. Die blijven namelijk achter in het stolsel. Het bevat ook geen stollingseiwitten, want die vormen de basis voor het stolsel. Het verschil tussen (bloed)plasma en (bloed)serum is dus dat plasma wel stollingseiwitten bevat en serum niet.

In figuur 1.1 zijn diverse bloedcellen en de bloedplaatjes weergegeven. Opvallend is hoe verschillend de cellen eruitzien, ook als je ze onder de microscoop bekijkt. Eén van de getekende leucocyten bestaat grotendeels uit een vrijwel ronde kern, met heel weinig cytoplasma eromheen. Dit is een *lymfocyt*. De kernen van twee van de overige leucocyten zijn gelobd en onregelmatig van vorm, oftewel polymorf. Deze cellen heten dan ook *polymorfkernige leucocyten*, kortweg *pmk's*. De bovenste leukocyt is een *monocyt*.

Fig. 1.1
Het bloed



1.2 Transport

Zoals je weet staat het bloed niet stil in een lichaam, maar stroomt het constant door de aderen. Daarbij voert het voeding, zuurstof, water, kooldioxide en overige afvalproducten met zich mee, die het vervolgens weer afgeeft aan organen. Het bloed zorgt daarnaast ook voor het vervoer van hormonen en warmte. Het transport van allerlei belangrijke stoffen is dus een van de hoofdtaken van bloed.

Water, voedingsstoffen en zuurstof

Water en voedingsstoffen komen het lichaam binnen via het darmkanaal, dat ze afgeeft aan het bloedplasma. Het bloedplasma verdeelt ze met behulp van het hart en de slagaders over het hele lichaam. Eenmaal aangekomen, treden de stoffen door de wand van de kleinste bloedvaatjes van het bloedvatstelsel, de haarvaten genoemd, en gaan naar de cellen toe. De afvalproducten die ontstaan als de cellen de voedingsstoffen hebben verbruikt, komen weer in het bloedplasma in de haarvaten en van daaruit ten slotte in de aders. Zo worden ze uit de weefsels en organen afgevoerd.

Zuurstof komt in het lichaam via de longen. De longen geven kooldioxide weer af. De zuurstof en kooldioxide worden vervoerd door de rode bloedcellen. In deze cellen is veel rode bloedkleurstof aanwezig, bestaande uit niet zo heel grote eiwitmoleculen. Deze rode bloedkleurstof heet ook wel *hemoglobine*. Centraal in het hemoglobinemolecuul bevindt zich een ijzeratoom dat zuurstof en kooldioxide kan

vasthouden of aan zich kan binden. De zuurstof gaat via het hart naar de bloedvaten in alle delen van het lichaam en komt ten slotte in de haarvaten. Daar verlaat hij de rode bloedcellen en gaat naar de cellen toe.

De cellen van alle weefsels verbruiken de zuurstof bij hun stofwisselingsprocessen. Dat noem je *verbranding*. Kooldioxide en water zijn bij dit verbrandingsproces de afvalproducten. Deze gaan vanuit de weefsels weer naar de haarvaten. Kooldioxide wordt daar ook gebonden door het ijzeratoom van het hemoglobine in de rode bloedcellen. Het water wordt via het bloedplasma afgevoerd. Via de bloedvaten gaat het nu zuurstofarme en kooldioxiderijke bloed naar de longen. Daar verlaat het kooldioxide de rode bloedcellen en wordt het door de longen afgevoerd, terwijl de rode bloedcellen weer zuurstof opnemen.

Het bewegen van zuurstof uit de longen naar het bloedplasma en van daaruit naar het ijzeratoom in het hemoglobine, gebeurt door *diffusie*, aangedreven door de chemische gradiënt. In de longen is de concentratie zuurstof na inademing heel hoog, in het bloed is de concentratie zuurstof juist laag. Zuurstofmoleculen snellen daarom naar het hemoglobine toe, net zolang tot de concentratie in longen en bloed gelijk is. In de weefsels is de concentratie zuurstof lager dan in het vers gearriveerde bloed. Opnieuw zullen diffusie en gradiënt de zuurstofmoleculen dus dwingen zich te bewegen, maar nu vanuit het bloed naar de weefselcellen toe. Kooldioxide wordt door precies dezelfde krachten bewogen, maar dan in omgekeerde richting.

Witte bloedcellen zijn zeer flexibel. Ze kunnen makkelijk van vorm veranderen en kruipen zodoende door de poriën in de wand van de haarvaten heen. Rode bloedcellen kunnen nauwelijks van vorm veranderen. Het gevolg is dat ze niet uit de haarvaten kunnen kruipen. Wel kunnen ze zich enigszins dubbelvouwen, zodat ze toch door de kleinste haarvaatjes heen kunnen.

Hormonen

signaalstoffen

Behalve water, voedingsstoffen, zuurstof en afvalproducten vervoert het bloed ook nog *signaalstoffen*, zoals hormonen. *Hormonen* zijn, zoals je misschien weet, stoffen die door bepaalde endocriene klieren of de hersenen worden gemaakt en die op een andere plaats in het lichaam hun werking hebben. Ze worden van de plaats waar ze gemaakt worden door het bloedplasma vervoerd naar de plaats waar ze werken.

Het vervoer van de hormonen gebeurt door eiwitten die in het bloedplasma aanwezig zijn. Dit zijn de *globulinen*. Deze eiwitten worden meestal door de lever gemaakt. Sommige globulinen zijn nodig bij de bloedstolling of de afweer tegen indringers. Andere, die in de lever gemaakt worden en daarna aan het bloedplasma worden afgegeven, dienen voor het transport van allerlei stoffen. Deze eiwitten noem je *albuminen*.

Behalve voor het transport van bijvoorbeeld hormonen, zoals schildklierhormoon, en vele verschillende soorten medicijnen, zijn de albuminen en de overige globulinen er ook om de osmotische waarde van het bloed op peil te houden. Dat blijkt bijvoorbeeld als de lever door ondervoeding niet voldoende eiwitten aanmaakt. De osmotische waarde van het bloed zakt dan, waardoor het bloed niet voldoende water kan vasthouden. Dit leidt tot vochtophoping in bijvoorbeeld de buikholte, waardoor de buik dik wordt.

Warmte

temperatuurcentrum

Organen als hersenen, hart, spieren, lever en nieren werken constant en erg intensief. Daarvoor is veel energie nodig, waarbij warmte vrijkomt. Organen kunnen zelfs oververhit raken, waardoor de cellen sterven. Vooral hersencellen zijn gevoelig voor hoge temperaturen. De bloedvaten die door een orgaan lopen, functioneren echter als koelbuizen en het bloedplasma werkt als koelvloeistof. De warmte wordt zodoende opgenomen en naar de huid getransporteerd. De huid geeft de warmte af aan de lucht, net zoals bij de radiator van een auto. De lichaamstemperatuur van warmbloedige dieren is vrij constant, ongeacht de omgevingstemperatuur. Dat komt omdat er in de tussenhersen een groepje cellen ligt dat de lichaamstemperatuur bewaakt en zo nodig bijstelt. Dit groepje cellen vormt het *temperatuurcentrum*.

Als een dier het koud heeft, zorgt het temperatuurscentrum ervoor dat de warmteproductie groter en de warmteafgifte kleiner wordt. De warmteproductie wordt vergroot doordat de organen en spieren sneller gaan werken. De skeletspieren werken bijvoorbeeld intensiever, waardoor de bewegingen van de ledematen heftiger worden uitgevoerd en de hartfrequentie omhoog gaat. Ook de lever is een orgaan dat door een snellere werking veel warmte produceert. Als de lichaamstemperatuur erg laag wordt, gaan de spieren korte, heftige samentrekkingen uitvoeren en gaat het dier rillen. De energie die hiermee wordt verbruikt, vult het dier aan door meer te eten.

Om bij koude toch warmte vast te houden maakt het dier zich zo klein mogelijk en gaat het tegen zijn soortgenoten liggen. Als je een nest pups of kittens heel dicht op elkaar ziet liggen, dan hebben ze het koud. Je moet ze dan bijverwarmen. De haren van het dier gaan op bevel van de hersenen overeind staan, waardoor de isolerende luchtlaag dikker wordt. De bloedcirculatie vermindert. Als de lichaamstemperatuur van een dier daarentegen te hoog wordt, zal het temperatuurcentrum het lichaam bevelen om minder warmte te maken. De organen werken dan minder hard. Het dier heeft nauwelijks behoefte aan voedsel en wordt sloom. Tegelijkertijd zal het lichaam warmte afgeven. Een hond en een kat doen dat door veel bloed in de bloedvaten van de huid te laten lopen. Ook gaan de haren plat tegen het lichaam liggen. De isolerende luchtlaag tussen de haren wordt zo dunner, waardoor warmte ontsnapt.

zweten

De belangrijkste manier voor honden en katten om warmte af te geven is het laten verdampen van vloeistof. Dit doen ze bijvoorbeeld door te *zweten*. Hoe dit zweten in zijn werk gaat, merk je bijvoorbeeld als je met eau-de-cologne je huid bevochtigt. Dit heeft een verkoelend effect, omdat de alcohol uit de eau de cologne snel verdampt en zo warmte aan de huid onttrekt. Hetzelfde gebeurt als een zweetklier vocht uitstoot. Zweet vormt een dun laagje over de huid en verdampt, waarmee warmte aan de huid wordt onttrokken. Honden en katten hebben echter alleen goed functionerende zweetklieren in de voetzolen. De oppervlakte daarvan is maar klein. Op andere plaatsen van het lichaam verdampen zij veel meer vocht. In de longen verdampt bijvoorbeeld water in de uitademingslucht. Het bloed dat door de longaders uit de longen stroomt, is daardoor 1 tot 2 °C kouder dan het bloed dat door de longslagader naar de longen toestroomt.

hijgen Je begrijpt nu misschien waarom een hond of kat bij warmte gaat *hijgen*. Maar daarvoor is nog een andere reden. Ook de tong is namelijk een plaats waar vocht verdampt. Als de temperatuur hoog is, steekt de hond de tong uit de bek en ademt door de mond. Daardoor is de tong in contact met de buitenlucht en de ademplucht en kan het dier door verdamping van speeksel warmte afstaan. De tong is goed voorzien van bloedvaten, zodat ook daarmee veel warmte wordt afgegeven. Een kat heeft nog een extra middel om bij zeer grote hitte vocht te laten verdampen. Hij begint dan hevig te speeksel en brengt het speeksel op de huid van de voorpoten en de borst, waar het verdampt.

1.3 Stolling

Behalve een transportfunctie heeft bloed een tweede belangrijke taak. Bloed helpt bij het repareren van beschadigde bloedvaten door bloedstolling. De wand van een haarvat is maar één laag cellen dik. Je kunt je voorstellen dat zo'n dunne wand heel makkelijk kapot gaat. Dit gebeurt dan ook regelmatig. Terwijl je dit leest, gaan er in jouw lichaam talloze bloedvatjes kapot, bijvoorbeeld in je vingers, omdat je net een bladzijde hebt omgeslagen. Bij patiënten die aan bloederziekte ofwel hemofilie lijden, is de bloedstolling zeer traag. Zelfs als ze zich licht stoten, ontstaat een hele grote blauwe plek, wat wil zeggen dat er bloed uit de bloedvaten is getreden. Rattengif bevat een stof die de bloedstolling remt. Dieren die dit gif opeten gaan dood aan spontane inwendige bloedingen.

signaalstoffen Als bloed in aanraking komt met buitenlucht stolt het. Maar de bloedstolling komt ook op gang als bloed in aanraking komt met een beschadigde plek in de wand van een bloedvat. De beschadigde wandcellen geven allerlei *signaalstoffen* af, zoals tromboxanen en tromboplastine. De signaalstoffen zorgen er in eerste instantie voor dat bloedplaatjes zich hechten aan de beschadigde plaats. Ze veranderen daarbij van vorm en worden kleveriger. Ook zij laten op hun beurt allerlei signaalstoffen los. Deze activeren dan een cascade van chemisch-enzymatische reacties tussen bepaalde eiwitten die zich in het bloedplasma en in de bloedplaatjes bevinden. Dergelijke eiwitten noem je de *stollingsfactoren*.

De stollingsfactoren van het bloedplasma worden door de lever gemaakt. Er zijn er erg veel en ze hebben namen als protrombine, trombine, factor ix en xii. Stollingsfactoren zorgen ervoor dat er *fibrine* ontstaat, een eiwit dat lijkt op de eiwitten die in spierweefsel voorkomen. Fibrine kan zich samentrekken, net als spierweefsel. Het vormt een netwerk van vezels over de beschadigde plaats in het bloedvat. Het korstje dat ontstaat op een huidwondje, bestaat uit een fibrinenetwerk.

In dit netwerkje worden ook bloedcellen en bloedplaatjes gevangen. Het korstje op een huidwondje is rood, doordat er ook rode bloedcellen gevangen zijn. De bloedplaatjes in het netwerk helpen mee met de uitbreiding ervan. Na enige tijd trekken de fibrinevezels samen, waardoor de randen van het gat in het bloedvat naar elkaar toe gaan. De cellen van de wand van het bloedvat delen zich en repareren het gat. Het is belangrijk te weten dat een stolsel oplost na ongeveer acht dagen. Bloedvaten die bijvoorbeeld tijdens de operatie van een dier zijn beschadigd, kunnen na acht dagen weer gaan bloeden. Dit gebeurt als het stolsel opgelost is, voordat het vat zich volledig heeft kunnen herstellen.

Uiteraard moet de bloedstolling, net als alle andere processen in het lichaam, geremd worden. Daartoe zijn er in het bloed eiwitten aanwezig die de stolling remmen, bijvoorbeeld antitrombine iii en proteïne C, dat overigens niets te maken heeft met vitamine C. De stollingsremmende werking van antitrombine iii wordt flink versterkt door *heparine*, dat door de *mastcellen* wordt afgegeven. Mastcellen (spreek uit: mestcellen) zijn een bepaald soort leukocyt.

1.4 Afweer

De derde functie van het bloed is het afweren van soortvreemde stoffen en organismen. Je zou dus kunnen zeggen dat het bloed een deel van het algemene afweerapparaat van het lichaam is. Er zijn de volgende afweermiddelen tegen soortvreemde stoffen en organismen.

- 1 Huid en slijmvliezen
- 2 Witte bloedcellen en ontstekingsreacties
- 3 Specifiek afweerstelsel

De eerste twee afweermiddelen zijn aspecifiek. Dat wil zeggen dat de huid en slijmvliezen en de ontstekingsreactie, al dan niet gepaard gaande met koorts, op iedere indringer op precies dezelfde manier en met dezelfde stoffen reageren. Het volgende stadium van de afweerreactie is daarentegen specifiek. Dat wil zeggen dat er antistoffen gemaakt worden die gericht zijn tegen één specifieke indringer. De antistoffen zijn dus alleen effectief tegen juist die indringer en doen niets tegen andere.

Huid en slijmvliezen

De eerste barrières die binnendringende micro-organismen en schadelijke stoffen tegenkomen zijn de huid en de slijmvliezen. Slijmvliezen zijn een voortzetting van de huid aan de binnenkant van de mond en de rest van het maagdarmkanaal, aan de binnenkant van de neus en de ademhalingsweg en aan de binnenkant van de geslachtsorganen en urineweg. Ze beschermen het lichaam op dezelfde wijze als de huid. Puur door hun stevige structuur belemmeren huid en slijmvliezen veel indringers de toegang tot het lichaam.

De tussencelstof doet echter ook een duit in het zakje als het gaat om het buiten houden van indringers. Het bevat stoffen die indringers aanpakken. Door het produceren van talg en slijm ontstaat een constante stroom, die bacteriën wegduwt van of uit het lichaam. Wanneer een schadelijke stof toch binnengedrongen is, dan wordt deze stroom verhevigd. Zo zorgen bij een darminfectie de darmen voor diarree, die veel bacteriën het lichaam uitstuwt. Diarree is dus een afweermiddel. Het is niet een symptoom dat je direct moet bestrijden met allerlei chemicaliën of huismiddeltjes. Net als bij alle andere ziekten is het bij diarree veel verstandiger een oorzaak vast te stellen en deze oorzaak vervolgens te behandelen. De symptomen verdwijnen dan vanzelf. Behalve bij diarree zorgen talg en slijm ook voor afweer bij een loopneus. Met niezen en hoesten worden de indringers bovendien nog eens met grote kracht verwijderd.

Talg en slijm stuwen de indringer niet alleen het lichaam uit, ze bevatten ook stoffen die indringers kunnen doden. Soms zijn dit heel eenvoudige chemische stoffen zoals

enzymen

het zoutzuur dat de maag aanmaakt. Geconcentreerd zoutzuur kan zelfs metaal oplossen. Als een bacterie dus in de maag komt, zal hij door het zoutzuur snel zijn uitgeschakeld. Andere stoffen zijn *enzymen*. Deze stoffen zijn vele malen ingewikkelder dan zoutzuur, maar hun effect is hetzelfde: ze lossen indringers op. Tot slot komen in talg en slijm bepaalde antistoffen voor, ook wel antilichamen genoemd.

Witte bloedcellen en ontstekingsreacties

Als indringers erin slagen deze eerste tegenstand te overwinnen, komen ze voor een tweede barrière te staan. Deze wordt gevormd door witte bloedcellen en de ontstekingsreactie, al of niet gepaard gaande met koorts. In het lichaam van zoogdieren zijn de volgende *witte bloedcellen* aanwezig.

- T-lymfocyten
- B-lymfocyten
- Plasmacellen
- Natural killer cells
- Monocyten
- Dendritic cells
- Polymorfkernige granulocyten
- Mastcellen

De verschillende soorten witte bloedcellen worden met een telapparaatje geregistreerd. De cellen worden van links naar rechts gerangschikt. Als er aan de linkerkant te veel cellen geteld worden, spreek je van een linksverschuiving. Dit wijst erop dat er ergens in het lichaam een infectie en ontsteking is.

mastcellen

Mastcellen zijn weefselgebonden en komen in het gezonde dier niet vrij in het bloed voor. Je treft ze aan in bindweefsel en slijmvliezen. Monocyten dringen door de wand van de haarvaten heen en worden macrofagen, die voorkomen in longen, hersenen (ze heten daar microgliacellen), lever, nieren, milt en lymfeknopen. Het gezamenlijke bindweefsel in deze organen heet het *reticulo-endotheliale systeem*, afgekort tot *RES*. De overige witte bloedcellen zwerven vrij door het lichaam en vind je dus zowel in het bloed als in de tussencelstof van de andere weefsels.

Antigenen

Een lichaamsvreemd element dat de barrière van huid en slijmvliezen passeert noemt je een *antigeen*. Een antigeen kan een micro-organisme zijn, zoals een bacterie, een lintworm of een virus. Maar ook giftige moleculen die in het speeksel van vlooiën of slangen voorkomen, zijn antigenen. Tumorcellen kunnen antigeen worden als ze afwijken van de normale lichaamscellen. Antigenen beschadigen of doden lichaamscellen, die daardoor signaalstoffen als leukotrienen, prostaglandines, tromboxanen en cytokinen afscheiden. Deze signaalstoffen roepen een ontstekingsreactie op. Verwar een ontsteking overigens niet met een infectie. Een infectie is het binnendringen van micro-organismen in het lichaam. Deze micro-organismen doden dan cellen en dit roept een ontstekingsreactie op.

Een ontstekingsreactie kan ook door mechanisch, fysisch of chemisch trauma ontstaan. Bij een verzwikking van de enkel bijvoorbeeld, beschadigen de enkelbanden. Dit is een mechanisch trauma. Er sterven dan bindweefselcellen van de enkelbanden af. De stoffen daaruit roepen een ontstekingsreactie op. Een voorbeeld van een fysisch

trauma is het contact met een heet voorwerp. Een chemisch trauma ontstaat bijvoorbeeld als er zoutzuur op de huid komt. In reactie op de signaalstoffen die worden afgegeven bij de genoemde situaties snellen polymorfkernige leucocyten naar het antigeen toe.

Pmk's

Er zijn drie soorten *polymorfkernige leucocyten* of *pmk's*, die naar hun reactie op kleuring voor microscopisch onderzoek worden onderscheiden.

- 1 Eosinofiele granulocyten
- 2 Basofiele granulocyten
- 3 Neutrofiele granulocyten

De termen worden vaak afgekort tot eo's, baso's en neutro's. De *eosinofiele granulocyten* kleuren rood en reageren vooral op infecties met endoparasieten, zoals lintwormen. Ze kunnen kleinere antigenen fagocyteren, dat is opeten. De grote wormen pakken ze anders aan. Het cytoplasma van de eosinofiele granulocyten bevat *granulae*, dat zijn korrels. Bij contact tussen deze pmk en de wormen, komt de inhoud van de granulae vrij en dit tast de cellen van de huid van de wormen aan. De stoffen die uit de granulae komen heten cytotoxisch. Cyt betekent cel, toxisch betekent giftig.

Basofiele granulocyten kleuren blauw. Ze storten de inhoud van hun granulae uit bij contact met antigeen. De granulae bevatten nog meer signaalstoffen, die de ontstekingsreactie verheviggen. *Neutrofiele granulocyten* hebben door kleuring een tint tussen die van de basofiele en eosinofiele granulocyten in. De granulae worden door de kleuring van May-Grünwald-Giemsa zichtbaar gemaakt. De neutrofiele granulocyten kunnen goed fagocyteren en hun granulae bevatten ook signaalstoffen die de ontstekingsreactie verheviggen. Net als basofiele granulocyten bevatten mastcellen granulae die ze uitstorten bij contact met signaalstoffen uit beschadigde cellen. Maar ook trauma op zich kan de mastcellen doen reageren. Een bekende stof uit de granulae van de mastcellen is het *histamine*.

Natural killer cells

Natural killer cells herkennen geïnfecteerde cellen aan hun veranderde celoppervlak. Als cellen met bepaalde virussen besmet zijn, geven ze *interferon* af, waardoor hun celoppervlak verandert. Interferon trekt natural killer cells aan. Ze herkennen de besmette cel met daarin het virus en doden hem. Daarnaast is interferon een signaalstof voor andere, met virus besmette cellen. Deze cellen stoppen dan met het maken van nieuwe virusdeeltjes. Sommige van de signaalstoffen die uit afgestorven of beschadigde cellen komen, alsook een aantal signaalstoffen dat de pmk's en mastcellen voortbrengt, veroorzaken bloedvatverwijding. Hierdoor stroomt er meer bloed en dus een groter aantal witte bloedcellen naar de infectiehaard. In het bloedplasma worden speciale eiwitten geactiveerd, zodat er verschillende cascades van reacties in het bloedplasma op gang komen.

De meest bekende reactie leidt tot de vorming van een aantal eiwitten die je tezamen *complement* noemt. Complementmoleculen binden zich aan de celwand van het binnengedrongen micro-organisme en maken er grote gaten in. Hierdoor kan de indringer zijn osmotische waarde niet meer handhaven, verliest essentiële stoffen en wordt vatbaarder voor cytotoxische stoffen. Daarnaast zet complement mastcellen aan om nog meer histamine af te geven. Dit is dus een positieve feedback die de ontsteking verheviggt.

Symptomen

Een ontsteking van een orgaan of weefsel is vaak goed te herkennen. Je neemt doorgaans de volgende vijf symptomen waar.

- 1 Pijn
- 2 Roodheid
- 3 Warmte
- 4 Zwelling
- 5 Gestoorde functie

Pijn ontstaat doordat gevoelszenuwen geprikkeld worden. Dat gebeurt door de eiwitten uit het bloedplasma, die geactiveerd werden door stoffen uit afgestorven cellen en druk ten gevolge van zwelling. De roodheid en warmte ontstaan door de verhoogde toevoer van bloed naar de plaats van ontsteking. Het rode, warme bloed neemt ruimte in en zo ontstaat zwelling. De gestoorde functie wordt veroorzaakt doordat er een aantal cellen van het orgaan of weefsel is vernietigd, en natuurlijk door de pijn. Pijn heeft namelijk een waarschuwend functie. Door de pijn zal het orgaan, bijvoorbeeld een ontstoken spier, minder worden gebruikt.

Deze vijf verschijnselen of symptomen treden altijd op bij een ontsteking. Je kunt ze duidelijk zien bij een ontsteking van de huid en bij gewrichten. Bij een kat met een ontstoken huid zie je vaak rode, warme verdikkingen in de huid die jeuken. Jeuk is een heel lichte prikkeling van de pijnzenuwen. De afweer van dat deel van de huid is verminderd en de huid is dus in zijn functie gestoord. Een huidontsteking breidt zich dan ook gemakkelijk uit, omdat de verwekkers van de ontsteking niet meer door de huid worden bestreden en zo hun gang kunnen gaan.

Bij ontsteking van andere organen is het vaak veel moeilijker alle vijf symptomen waar te nemen. Als een dier bijvoorbeeld blaasontsteking heeft, merk je dat meestal alleen aan het vele plassen of zelfs onzindelijkheid. Dit vele plassen is op zichzelf erg nuttig. Door meer te plassen worden de ziekteverwekkers sneller weggespoeld. Je merkt dus alleen de gestoorde functie van de blaas op. Pas bij het klinisch onderzoek zal bij het betasten van de buik te voelen zijn dat de blaas een dikkere wand, dus een zwelling heeft. Ook merk je dat de blaas pijnlijk is. Bij een eventuele operatie, bijvoorbeeld om een blaassteen te verwijderen, zul je zien dat de blaaswand veel roder is dan normaal en kun je de grotere warmte voelen.

Koorts

Soms gaat een ontsteking gepaard met koorts. Onder koorts versta je een verhoging van de normale lichaamstemperatuur met meer dan 0,5 °C, op bevel van het warmtecentrum van de hersenen. Als het warmtecentrum geprikkeld wordt door stoffen die uit dode cellen afkomstig zijn, geeft het bevel tot verhogen van de lichaamstemperatuur. Koorts ontstaat doordat het warmtecentrum het lichaam tot grotere activiteit aanzet. De warmteproductie wordt groter, maar de warmteafgifte daalt door bloedvatvernauwing. Hierdoor stijgt de lichaamstemperatuur.

Een dier met koorts haalt snel adem, omdat de snellere stofwisseling meer zuurstof vergt. Ook het hart slaat sneller om een grotere hoeveelheid zuurstof en voedingsstoffen naar de weefsels te brengen. Koorts is een zeer nuttig verschijnsel. Doordat de weefsels actiever zijn kunnen ze beschadigingen sneller repareren. Ook het afweerstelsel wordt aangezet tot grotere activiteit en werkt dus beter tegen de

indringers. Door de hogere lichaamstemperatuur functioneren indringers minder goed. De meeste bacteriën voelen zich het beste bij 35 tot 38 °C. Bij koorts stijgt de lichaamstemperatuur daar boven en bacteriën vermeerderen zich dan veel minder snel. Sommige virussen sterven zelfs bij een temperatuur van 41 °C. Koorts put het lichaam echter wel uit. Als de koorts langdurig erg hoog is, moet je de temperatuur dus verlagen. Daarvoor zijn er speciale medicijnen die het warmtecentrum beïnvloeden.

Overigens ontstaat er lang niet bij iedere ontsteking koorts. Alleen als er genoeg prikkelende stoffen zijn, zal het warmtecentrum het bevel tot koorts geven. Dit is iets waarmee je goed rekening moet houden bij het interpreteren van de lichaamstemperatuur. Je mag dan ook niet automatisch iedere verhoging van de lichaamstemperatuur als koorts beschouwen. Als een hond bijvoorbeeld in een auto is opgesloten die midden in de zomer in de zon staat, stijgt zijn lichaamstemperatuur ook. Dat komt omdat de hond zijn normale warmte niet kwijt kan. De lichaamstemperatuur kan ook verhoogd zijn als een dier een grote lichamelijke inspanning heeft verricht, bijvoorbeeld bij jachthonden die de hele dag in zwaar terrein hebben geapporteerd.

Specifieke afweerstelsel

De tot nu toe besproken afweermiddelen zijn specifiek en reageren bij iedere indringer op precies dezelfde manier en met dezelfde stoffen. Het volgende stadium van de afweerreactie is specifiek. Dat wil zeggen dat er nu antistoffen gemaakt worden die gericht zijn tegen één specifieke indringer. Binnen dit specifieke afweerstelsel onderscheid je actieve immunisatie en passieve immunisatie. Je leert nu wat deze twee termen precies inhouden.

Actieve immunisatie

Actieve immunisatie leidt ertoe dat het dier dat met een antigeen in contact komt zelf op een actieve manier zijn afweer maakt, onder andere door de aanmaak van antilichamen. Dat gebeurt bijvoorbeeld als een hond tegen hondenziekte wordt ingeënt. Deze hond heeft dan een actieve immunisatie ondergaan.

De ontstekingsreactie trekt macrofagen en dendritische cellen aan. Zij fagocyteren het antigeen. Ze omhullen daarvoor het antigeen en vermalen het tot brokstukken met behulp van hun lysosomen. Sommige van die brokstukken duwen ze uit hun cytoplasma en hechten ze vast aan bepaalde uitsteeksels van hun eigen celwand. Vervolgens gaan ze naar de lymfeknopen en brengen zo (delen van) het antigeen naar de lymfocyten. Macrofagen en dendritische cellen noem je daarom *antigeen presenterende cellen*, of kortweg *apc's*.

*antigeen presenterende
cellen*

T-cellen

Zoals eerder aan de orde is geweest zijn er twee soorten lymfocyten: T-lymfocyten en B-lymfocyten. Beide worden tijdens het embryonale leven gemaakt in het beenmerg. De *T-cellen* gaan naar de *thymus*, vandaar de 'T'. De thymus, ook wel zwezerik genoemd, is een slap witgeel orgaan dat in de borstholte ligt, vlak voor het hart. Het is alleen bij jonge dieren goed ontwikkeld. Als honden en katten enkele maanden oud zijn, begint de thymus te verschrompelen tot er nog maar een fractie van de oorspronkelijke grootte overblijft.

	De T-cellen worden in de thymus zodanig geprogrammeerd dat ze de lichaamseigen stoffen en cellen wel herkennen, maar niet aanvallen. Je zegt daarom dat de lymfocyten tolerant zijn geworden.
<i>B-cellen</i>	De <i>B-cellen</i> worden op die manier in het beenmerg geprogrammeerd om lichaamseigen van lichaamsvreemd te onderscheiden. Nadat ze goed geprogrammeerd zijn, gaan de T- en B-cellen naar het bloed, verspreiden ze zich over het lichaam en nestelen ze zich in de lymfeknopen, de milt en andere plaatsen van het reticulo-endotheliale systeem. Ze vermeerderen zich daar en fungeren dus als een soort secundaire stamcellen.
	Apc's gaan zoals gezegd ook naar de lymfeknopen en maken contact met een T-cel, zodanig dat het (stukje) antigeen zich hecht aan bepaalde celreceptoren van een bepaald type T-cel. De betreffende T-cellen noem je <i>T-helpercellen</i> of <i>Th-cellen</i>. Deze wordt door het contact met de apc en het antigeen geprogrammeerd op dat bepaalde antigeen en zal dus niet reageren op andere antigenen. De Th-cel maakt contact met een B-cel en geeft signaalstoffen af die andere T-cellen programmeert en aanzet tot het aanvallen van het antigeen. Deze aanval heeft een cytotoxisch effect. Die andere cellen heten dan ook <i>cytotoxische T-cellen</i> of <i>Tc-cellen</i>. Bovendien activeert de Th-cel ook de mastcellen en de granulocyten, waardoor de ontstekingsreactie verhevigd wordt.
<i>immuunstelsel</i>	Natural killer cells worden door Th-cellen aangezet tot vermeerdering en actie. De Th-cel en de Tc-cellen gaan zich zeer intensief delen, zodat er grote aantallen van beide ontstaan die dus alleen gericht zijn op het betreffende antigeen. Een deel van de geactiveerde T-cellen komt niet in actie tegen het antigeen en blijft in rust. Deze <i>Tm-cellen</i>, waarbij de 'm' staat voor het Engelse woord memory, vormen een deel van het geheugen van afweerstelsel ofwel <i>immuunstelsel</i>. Als de Th-cel en een antigeen samen contact maken met een B-cel, wordt de B-cel geprogrammeerd op dat specifieke (stukje) antigeen, dat aan de Th-cel verbonden was. De B-cel deelt zich nu razendsnel. Er ontstaat een zeer groot aantal B-cellen, dat uitsluitend geprogrammeerd is op dat ene antigeen. Een klein deel van de B-cellen zal, net als bij de T-cellen, in rust blijven en veranderen in memory cells.
<i>Ig</i>	Het grootste deel van de B-cellen vormt zich om tot plasmacellen en gaat <i>antistoffen</i> produceren. Deze antistoffen of <i>antilichamen</i> zijn uitsluitend gericht tegen één bepaald soort antigeen. Een antilichaam tegen bijvoorbeeld kattenziekte zal niets doen tegen een niesziektevirus. Antilichamen zijn kleine eiwitmoleculen van enkele honderden aminozuren, met de vorm van een Y. Je noemt ze ook <i>immunoglobulinen</i>, afgekort tot <i>Ig</i>. De onderste, langere poot van de Y is een niet-specifiek handvat, waarmee de Ig's zich kunnen binden aan de leucocyten. De twee bovenste kortere poten van de Y zijn specifiek. Zij zijn dus gericht op één bepaald antigeen.
	Er zijn vijf soorten immunoglobulinen: IgA, IgD, IgE, IgG en IgM. De eerste, IgA, wordt uitgescheiden door de cellen van slijmvliezen, zodat het deel uitmaakt van de primaire bescherming tegen antigenen. IgD zit aan de B-lymfocyten vast met het onderste deel van de Y. De precieze functie van deze soort is niet bekend. IgE wordt met name gemaakt tegen endoparasieten, zoals lintwormen. IgG is het antilichaam dat in de grootste hoeveelheden gemaakt wordt. Het maakt bijna 90% van de totale hoeveelheid antilichamen uit. IgM is een goede tweede met bijna 10%. Bij contact met antigeen wordt eerst IgM gemaakt en daarna IgG.

*antigeen-
antilichaamcomplex*

De antilichamen binden zich aan het antigeen met een of twee van de bovenste poten van de Y. Ze omhullen een bacterie als het ware met een laagje antistoffen. Je kunt je wel voorstellen dat dit de bacterie in zijn stofwisseling ernstig hindert. Als een antilichaam met één korte poot aan de ene bacterie is gebonden, is de andere korte poot vrij en die kan zich dus aan een andere bacterie binden. Op deze manier worden meerdere bacteriën aan elkaar gekoppeld, waardoor ze niet meer vrij zijn. Je noemt dit agglutineren. Beide bacteriën zijn dan wel van dezelfde soort, bijvoorbeeld twee *Pasteurella multocida*-bacteriën, want antilichamen zijn immers specifiek gericht tegen één bepaalde bacterie.

Behalve dat door agglutineren de bacteriën niet meer vrij zijn, is de verbinding van een antilichaam aan een antigeen, ook wel *antigeen-antilichaamcomplex* genoemd, ook aanleiding tot het losbarsten van de complementcascade in het bloedplasma. Het antigeen-antilichaamcomplex oefent namelijk een grote aantrekkingskracht uit op het complement, waardoor de binding aan het antigeen sterk verhoogd wordt en daarmee dus ook de effectiviteit van het complement toeneemt.

Doordat antilichamen aangetrokken worden door hun antigeen, vormt zich rond de plaats waar het antigeen zich ophoudt een grote concentratie van antigeen. Hierdoor ontstaat een chemische gradiënt. Andere witte bloedcellen, zoals pmk's, macrofagen en natural killer cells, kunnen op hun beurt antilichamen waarnemen. Door de chemische gradiënt 'omhoog' te volgen worden ze naar het antigeen toegeleid en kunnen ze hun taak extra goed uitvoeren. Bovendien maakt de verbinding van antilichamen het antigeen aantrekkelijker voor specifieke witte bloedcellen als de natural killer cells. De productie van antilichamen verheft dus de kracht van de afweer in aanzienlijke en meestal levensreddende mate.

remstoffen

Zoals bij elk proces in het lichaam is er ook een rem op de activiteit van het immuunsysteem. Om te beginnen wordt, als alles goed gaat, het antigeen geëlimineerd. De prikkel tot actie verdwijnt en er volgt geen nieuwe actie. Ook worden er tijdens contact niet alleen Th-cellen geprogrammeerd, maar ook remmende T-cellen. Zij geven de Th-cellen het bevel om te stoppen met hun actie. Bovendien maken de fagocyterende cellen stoffen die de afweer remmen. Hoe meer ze fagocyteren, hoe meer *remstoffen* ze maken. Na verloop van tijd zijn er genoeg remstoffen op de plaats van de ontsteking om de reactie te stoppen. De hersenen nemen signaalstoffen als cytokinen en prostaglandines waar en reageren door ACTH te produceren. De bijnier maakt dan meer glucocorticosteroiden, die een ontstekingsremmende werking hebben.

Verreweg de meeste infecties worden op deze wijze tot staan gebracht en het dier geneest na enige tijd. Die tijd kan, afhankelijk van de *virulentie* van het betreffende micro-organisme, dat wil zeggen de mate van agressiviteit, korter of langer zijn. Als de virulentie heel groot is, zal de indringer zich onbepaald vermeerderen en de dood van het dier veroorzaken. Is de virulentie kleiner, dan krijgt het immuunsysteem de kans om goed te reageren en zal het dier waarschijnlijk genezen. Het immuunsysteem heeft wel minstens enkele dagen nodig om immunoglobulinen te maken, zodat de afweer pas na die tijd goed op gang komt. Meestal is er na ruim een week een piek in de productie van IgM. De piek in de productie van IgG komt na 10 tot 14 dagen. Definitieve genezing volgt daarna. De antilichamen blijven in het bloed, vervallen

langzaam en worden verwijderd. Hoe snel ze uit het bloed verdwijnen, hangt onder meer af van het antigeen.

Antilichamen die door een natuurlijke infectie zijn opgewekt, gaan langer mee dan antilichamen die door een kunstmatige infectie, dus een enting ofwel vaccinatie zijn opgewekt. Ook geven antilichamen tegen het ene micro-organisme een langer durende immuniteit dan tegen een andere. Zo geeft een enting tegen niesziekte een immuniteit van ongeveer 6 tot 9 maanden en een enting tegen kattenziekte een immuniteit van 2 jaar. Ook diersoort en ras zijn daarbij van belang. Bij de mens is de immuniteit tegen tetanus bijvoorbeeld 15 jaar. Het is overigens voor mensen die veel met dieren omgaan verstandig om zich vaker te laten enten tegen tetanus, bijvoorbeeld éénmaal per drie jaar.

Als een dier opnieuw in contact komt met het betreffende antigeen, geven de nog in het bloed circulerende antilichamen een eerste bescherming. De T- en B-memory cells zijn dan van doorslaggevend belang. De memory cells kunnen meteen antilichamen gaan maken tegen het betreffende antigeen. De inleidende fase van de apc's is niet meer nodig. Daardoor komt de afweerreactie sneller tot stand. Bovendien worden er meer antilichamen (vooral IgG) gemaakt, gedurende een langere tijd. Kortom, na een tweede contact reageert het immuunsysteem beter. Soms is de reactie zo snel en effectief dat het dier in het geheel geen symptomen van ziekte vertoont. Dit alles zorgt ervoor dat een gevaccineerd dier rustig in contact kan komen met het betreffende micro-organisme zonder ziek te worden.

Passieve immunisatie

Tot nog toe heb je alleen iets geleerd over processen die leiden tot actieve immunisatie. Je kunt een dier echter ook passief immuun maken, bijvoorbeeld door een *tetanusserum* in te spuiten, hetgeen vaak gedaan wordt bij paarden. Tetanusserum bevat een grote hoeveelheid antilichamen tegen de tetanusbacterie en beschermt het paard gedurende heel korte tijd. Een paard dat al aan tetanus lijdt, moet je dagelijks een injectie met nieuwe antilichamen geven. Het paard zelf maakt dan geen eigen antilichamen meer. Zijn immuunsysteem blijft passief. Het toedienen van een tetanusserum is een voorbeeld van passieve immunisatie. Het voordeel van een passieve immunisatie is dat het dier onmiddellijk over een grote hoeveelheid antilichamen beschikt. Bij een actieve immunisatie zijn pas op zijn vroegst na een week voldoende antilichamen in het bloed om een infectie het hoofd te kunnen bieden. Het nadeel van een passieve immunisatie is echter dat die maar kort werkt.

Het bovenstaande geldt alleen voor dieren waarvan het immuunsysteem volgroeid is. Net als bijvoorbeeld de spieren moet ook het immuunstelsel eerst volwassen worden voordat het optimaal kan werken. Bij de pasgeboren hond en kat is het immuunstelsel nog niet in staat om goed te reageren op antigenen. Algemeen wordt aangenomen dat het afweersysteem van pups en kittens pas op de leeftijd van zes weken enigermate in staat is om afweer op te bouwen. Deze afweer is dan nog niet langdurig. Na vier tot zes weken neemt deze al weer sterk af. Pas als een pup of kitten twaalf weken oud is, kan het immuunsysteem volwassen genoemd worden en ontwikkelt het een langdurende immuniteit. Dit is dan ook de reden dat fabrikanten van entstoffen aanraden de *entingen* bij jonge pups en kittens te geven op de leeftijd van zes weken en te herhalen op twaalf weken.

De eerste zes weken van hun leven zijn jonge dieren dus kwetsbaar en worden ze alleen beschermd door de afweer die ze van hun moeder hebben meegekregen. Als een moederdier niet al te lang geleden in contact is geweest met een antigeen, heeft ze er een afweer tegen opgebouwd, onder meer in de vorm van antilichamen in het bloed. Die antilichamen worden via de melk uitgescheiden. Dit is dus een vorm van passieve immunisatie. De melk die gedurende de eerste dagen na de geboorte wordt geproduceerd, heet *biest*. Biest bevat zeer veel antilichamen tegen alle antigenen waar de moeder ooit mee in aanraking is gekomen. Het darmkanaal van pasgeboren dieren kan die antilichamen opnemen gedurende de eerste twee levensdagen. Daarna worden de antilichamen, net als alle andere eiwitten, gewoon als voer verteerd.

Hoe lang die passieve immuniteit duurt, is afhankelijk van de hoeveelheid antilichamen die in de biest aanwezig waren. Dit aantal is gerelateerd aan de hoeveel antilichamen die er in het bloed van de moeder waren, wat weer samenhangt met het moment waarop de moeder met het antigeen in aanraking was. Hoe korter geleden, hoe meer antilichamen. Het is dan ook aan te raden om dieren die gedekt gaan worden, kort tevoren volledig te enten. Overigens is de mate van immuniteit ook afhankelijk van de soort ziektekiem waartegen de moeder is ingeënt. De pups van een teef die kort geleden gevaccineerd werd tegen parvovirusinfectie kunnen bijvoorbeeld wel voor zestien weken lang een goede passieve immuniteit hebben gekregen via de biest. Passieve immuniteit tegen hondenziekte is daarentegen meestal met twaalf weken verdwenen.

Je hebt gemerkt dat de stof die in deze paragraaf is behandeld, behoorlijk ingewikkeld is. Waarschijnlijk zijn je nog een aantal dingen niet helemaal duidelijk. Je hebt hier slechts een overzicht gekregen van de problematiek. Troost je met de gedachte dat nog niemand in de hele wereld is die het afweerstelsel tot in detail begrijpt. Er zijn nog zeer veel onopgeloste zaken, zoals bijvoorbeeld de onbekende functie van het IgD, een punt dat in de tekst al even aan de orde kwam. Er wordt daarom erg veel onderzoek gedaan naar het afweerstelsel. Regelmatig worden er nieuwe ontdekkingen gedaan, waardoor bestaande theorieën moeten worden bijgesteld.

1.5 Afsluiting

In dit hoofdstuk is het bloed besproken. Na bestudering van de stof zul je weten hoe de samenstelling van het bloed is en welke taken het heeft. Je hebt bij het onderdeel over de transportfunctie van het bloed geleerd welke stoffen door welk deel van het bloed waar naar toe worden vervoerd. Ook weet je nu dat het regelen van de lichaamstemperatuur heel belangrijk is. Van de bloedstolling moet je de hoofdzaken goed kennen.

Je zult inmiddels begrijpen dat bloed ook een zeer belangrijke rol speelt bij de afweersystemen van het lichaam. Daarvan moet je de verschillende mechanismen globaal kennen en de hoofdzaken ervan begrijpen.

Vragen 1.1

- a Waar ligt de thymus?
- b Welke cellen worden er in de milt gemaakt?
- c Wat is bilirubine?
- d Wat is het verschil tussen plasma en serum?
- e Wat zijn de taken van het bloed?

-
- Vragen 1.2**
- a Is het bloed dat uit de oorschelp komt en naar het hart en vandaar naar de longen gaat, rijk aan kooldioxide?
 - b Waar worden albuminen gemaakt?
 - c Welke organen zijn de voornaamste producenten van warmte?
 - d Wat gebeurt er als een dier het erg koud heeft?
- Vragen 1.3**
- a Wat kan er acht dagen na een operatie gebeuren?
 - b Waar tref je slijmvliezen aan?
 - c Verklaar waarom diarree nuttig kan zijn.
 - d Welke leucocyten zijn er?
 - e Noem enkele soorten antigenen.
 - f Wat is het verschil tussen infectie en ontsteking?
 - g Welke drie soorten pmk's zijn er?
 - h Wat is histamine?
 - i Wat doet complement?
 - j Verklaar waarom de plek van ontsteking warm aanvoelt.
 - k Wat is koorts?
 - l Wanneer zal je besluiten koorts te onderdrukken?
 - m Noem twee soorten apc's.
 - n Wat wordt bedoeld met de term 'tolerante lymfocyt'?
 - o Wat is de functie van de Tm-cellen?
 - p Welke vorm hebben antilichamen?
 - q Welke Ig wordt bij een infectie als eerste gemaakt?
 - r Wat is de rol van de hersenen bij de afweerreactie?
 - s Welk Ig wordt bij een tweede contact (en eventuele latere contacten) met een antigeen vooral gemaakt?

2 Het circulatieapparaat

Oriëntatie

Het circulatieapparaat is het orgaansysteem dat als taak heeft het bloed in het lichaam rond te sturen en te geleiden. Het is een gesloten systeem waar het bloed doorheen stroomt. Het is uiteraard niet in die zin gesloten dat er niets doorheen kan. Vocht en voedingsstoffen kunnen namelijk door de wand van de haarvaten treden, waarna ze het weefsel bereiken. Gesloten wil hier zeggen dat er geen begin en einde is, zoals in een cirkel. Je kunt het vergelijken met een racecircuit, waarop je eindeloos rondjes kunt rijden. De verschillende onderdelen van het circulatieapparaat zorgen ervoor dat de bloedstroom continue blijft doorgaan, zodat geen enkel lichaamsdeel het lang zonder zijn energiebronnen hoeft te stellen. In het lichaam is de 24-uurs-economie dus al lang doorgevoerd. En dat is maar goed ook, want zelf de kleinste pauze kan al fataal zijn.

2.1 Het hart

Het circulatieapparaat bestaat uit de volgende onderdelen:

- het hart (cor, cardia);
- slagaders (arteriën);
- haarvaten (capillairen);
- aders (venen);
- lymfevaten en lymfeknopen (lymfonoduli).

*boezems
kamers*

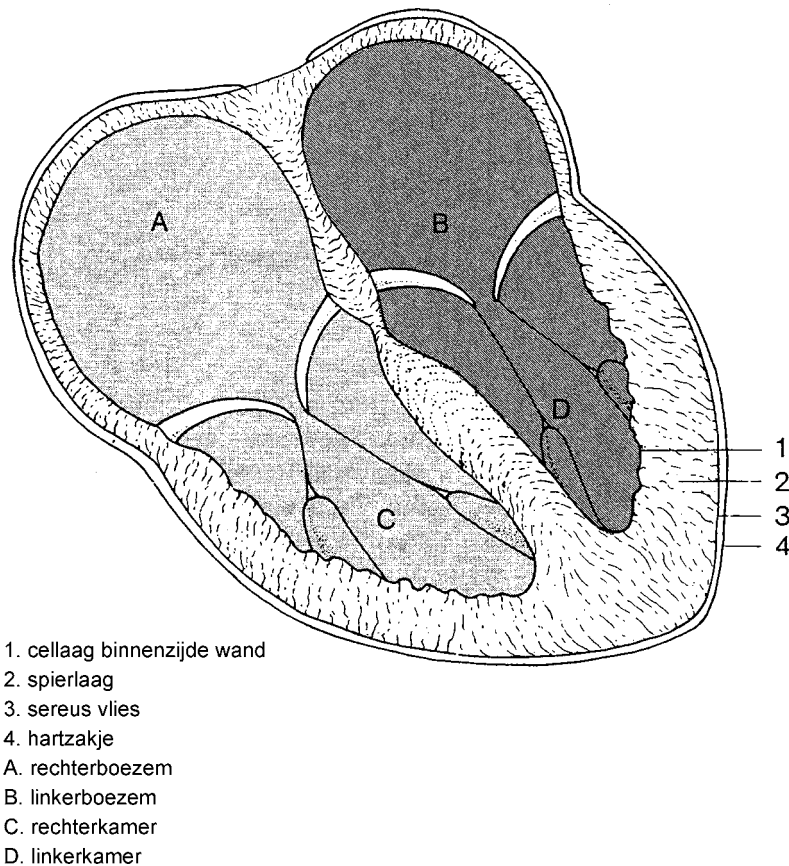
Het hart ligt in de onderste helft van de borstholte, ter hoogte van de derde tot zesde rib. Het ligt iets uit het midden: 60% van de massa van het hart ligt links van de middenlijn. Het is de taak van het hart het bloed in de slagaders te sturen. Het hart bestaat uit hartspierweefsel dat vier holten omgeeft. Deze holten heten *boezems* en *kamers*, of om precies te zijn: rechterboezem (*atrium dextrum*), rechterkamer (*ventriculus dexter*), linkerboezem (*atrium sinistrum*) en linkerkamer (*ventriculus sinister*). De boezems en kamers zijn met bloed gevuld. Als het spierweefsel samentrekt, worden de holten kleiner. Het bloed wordt dan uit de holten weggeperst. De linkerboezem en linkerkamer vormen één geheel, evenals de rechterboezem en rechterkamer. De linker en rechter halthelften zijn van elkaar gescheiden door het *septum*.

De wand van het hart bestaat uit verschillende lagen. Van binnen naar buiten opgesomd zijn dit:

- een cellaag die de binnenzijde van het hart bekleedt;
- een dikke spierlaag;
- een vlies aan de buitenzijde van de spierlaag;
- een tweede vlies dat het gehele hart omhult.

Het epitheel dat de binnenkant van hart en bloedvaten bekleedt, noem je *endotheel*. Het bestaat uit één laag platte cellen, die op een basaalmembraan staan. Onder de basaalmembraan ligt een laagje bindweefsel. Het endotheel en het bindweefsel heten samen het *endocard*. De volgende laag van het hart is de dikke spierlaag. Deze heet het *myocard*. Het hart is aan de buitenkant bedekt met opnieuw een laagje bindweefsel en epitheel. Deze twee samen heten het *epicard*. Om dit geheel heen ligt losjes het *pericard*, ook wel het *hartzakje* genoemd. In figuur 2.1 zie je alle genoemde onderdelen nog eens duidelijk weergegeven.

Fig. 2.1
Het hart



Het sereus vlies

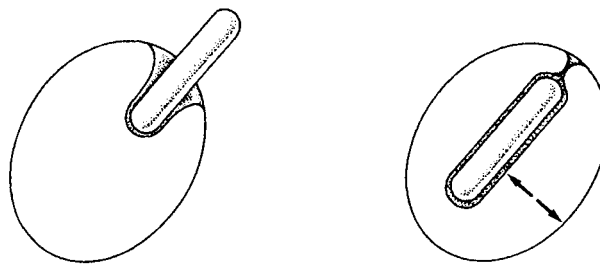
Het epicard en het pericard bestaan uit een speciaal soort epitheel, dat een vloeistof afscheidt die lijkt op synovia en als smeermiddel dient. Het hart kan zo makkelijk in het hartzakje kloppen. Dit speciale epitheel noem je ook wel *serosa* of *sereus vlies*. Alle organen in de borstholte zijn ermee bedekt. Sereuze vliezen vind je ook in de buikholte.

Het sereuze vlies van het hart loopt over het hele hart van onder tot boven. Op deze plaats heet het epicard. Daar waar de grote vaten het hart verlaten, raakt het los van het hart en buigt het terug naar beneden. Het heet dan pericard. Het verliest dus het directe contact met het hart. Onder het hart komen ze weer bij elkaar. Het vlies omhult het hart dus voor de tweede keer, maar blijft er nu los van en maakt deel uit van het hartzakje.

In figuur 2.1 kun je goed zien hoe het sereuze vlies om het hart zit. Als je een doorsnede van het hart zou maken, zou je zien dat de twee lagen van het sereuze vlies net niet tegen elkaar aanliggen en ten opzichte van elkaar kunnen bewegen. In de ruimte tussen de beide delen van sereuze vlies, bevindt zich een dun laagje vloeistof.

Zoals gezegd vormt het buitenste vlies het hartzakje. De functie van het hartzakje is het ophangen van het hart in de borstkas. Je kunt je het hartzakje voorstellen als een rubberen ballon. Als je nu met een stokje een deukje in de ballon maakt en er steeds verder insteekt, dan kun je zien hoe het sereuze vlies om het hart heen zit. Het stokje vormt dan het hart zelf. De laag rubber die direct om het stokje heen ligt, is het eerste deel van het sereuze vlies. De rest van de ballon vormt dan de voortzetting van het vlies. In figuur 2.2 is dit duidelijk weergegeven. De ruimte tussen beide delen van het sereuze vlies beslaat slechts enkele millimeters. Je ziet dat het vlies één doorlopend geheel vormt, zonder begin of eind. Dit is een eigenschap van alle sereuze vliezen in het lichaam.

Fig. 2.2
Het sereuze vlies



Het functioneren van het hart

De opbouw van het hart is al eerder aan de orde geweest. Je leert nu wat de functie is van de diverse onderdelen. Het hart bestaat uit:

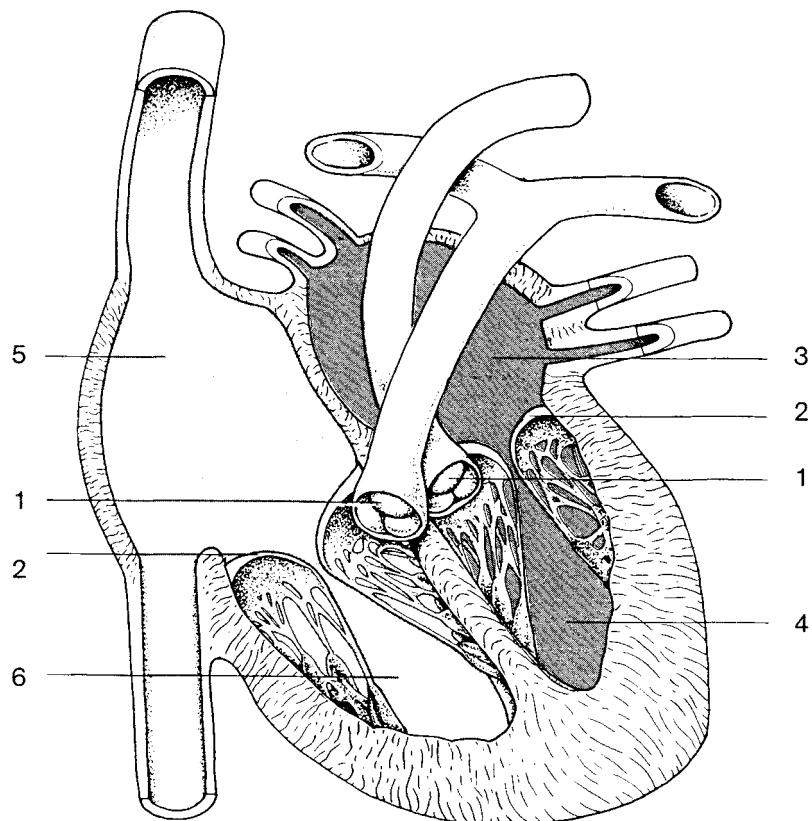
- het rechter atrium;
- het rechter ventrikel;
- het linker atrium;
- het linker ventrikel.

Bloedstroom in het hart

boezems In de *boezems* van het hart, in het Latijn de *atria* genoemd, komen grote aders uit. Deze aders voeren bloed aan vanuit het lichaam. De boezems verzamelen dit bloed. Als de boezem samentrekt, wordt het bloed met kracht in de bijbehorende kamer geperst, waardoor de kamer helemaal gevuld wordt. Het samentrekken van de boezem begint bij de plaats waar de grote aders in de boezem uitmonden. Deze uitmonding wordt bij de samentrekking als het ware dichtgeknepen. Daardoor kan het bloed nog maar één kant op: naar de kamer.

kamers De *kamers* pompen het bloed vervolgens in de slagaders en vandaar naar andere organen van het lichaam. De wanden van de kamers zijn dan ook dikker dan de wand van de boezems, waardoor de kracht van de kamers veel groter is dan die van de boezems. Het bloed moet vanuit de kamers immers door het hele lichaam gestuurd worden.

Fig. 2.3
De kleppen in het hart

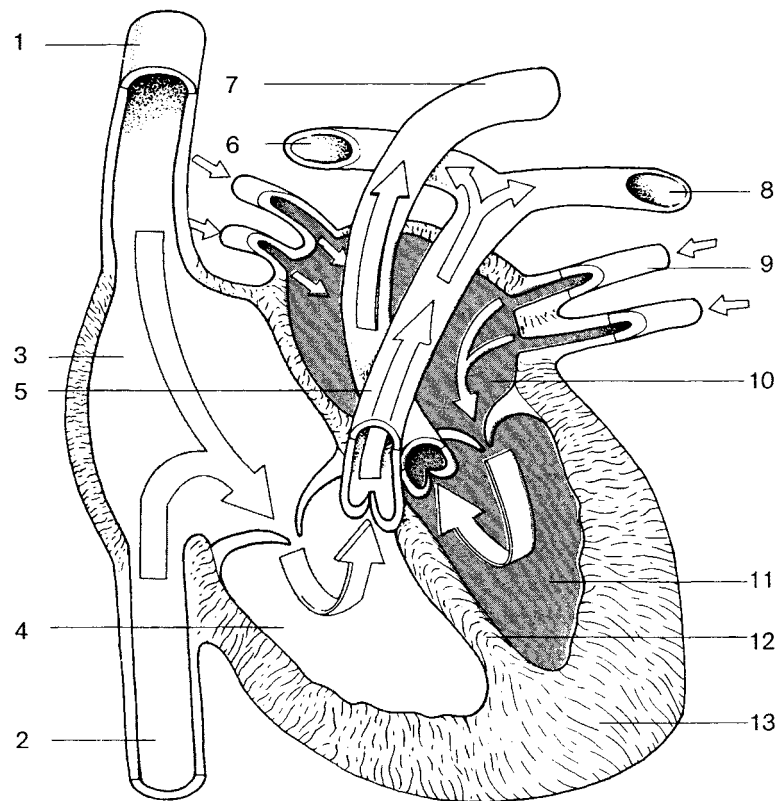


1. klep waardoor het bloed vanuit de kamer het hart verlaat
2. klep waardoor het bloed van boezem naar kamer stroomt
3. linkerboezem
4. linkerkamer
5. rechterboezem
6. rechterkamer

Het bloed zou van de kamers terug in de boezems worden geperst als er niet iets was dat het bloed tegenhield. Kamers en boezems zijn daarom van elkaar gescheiden door *kleppen*. Dit zijn de *atrio-ventriculaire kleppen*, afgekort tot *av-kleppen*. Als de kamer samentrekt klappen de kleppen dicht. Tussen de rechterboezem en de rechterkamer ligt de *valvula tricuspidalis*, de *drielippige hartklep*. Tussen de linkerboezem en de linkerkamer ligt de *valvula bicuspidalis*, de *tweelippige hartklep*, ook wel *mitralisklep* genoemd. De kleppen bestaan uit bindweefsel, bedekt met endotheel. Ze worden op hun plaats gehouden door bindweefselkabeltjes. In figuur 2.1 staan deze kabeltjes getekend.

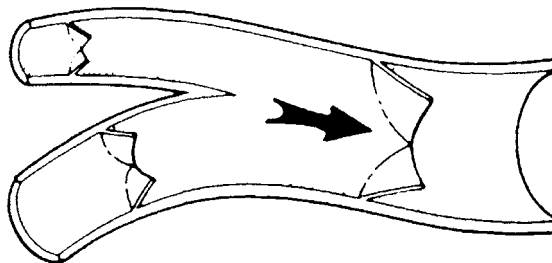
Doordat de kleppen bij samentrekking de boezems afsluiten, kan het bloed nog maar één kant uit, namelijk de grote *slagaders* in. Deze voeren het bloed vervolgens het lichaam in. Om te voorkomen dat er bloed terugloopt van de slagaders naar het hart als dit zich ontspant na de samentrekking, zijn er ook kleppen tussen de kamers en de slagaders. Zij worden de *valvulae semilunares* of *halvemaanvormige kleppen* genoemd.

Fig. 2.4
De bloedstroom door het hart



1. bovenste holle ader
2. onderste holle ader
3. rechterboezem
4. rechterkamer
5. begin kleine bloedsomloop
6. rechter slagader kleine bloedsomloop
7. aorta
8. linkerslagader kleine bloedsomloop
9. terugvoeren van zuurstofrijk bloed uit de kleine bloedsomloop
10. linkerboezem
11. linkerkamer
12. scheiding tussen linker en rechter kamer
13. spierlaag

Fig. 2.5
De kleppen in de aders



De anatomie van het hart kun je goed bestuderen aan de hand van bijvoorbeeld een lamshart. De meeste hondenbezitters voeren dit hun dieren wel eens. Knip het hartje eens open langs de grote vaten, dan kun je zien hoe een hart er in werkelijkheid uitziet.

Samentrekking van het hart

contractie Je hebt geleerd dat er spiercellen in het hart zitten die de samentrekking veroorzaken. Er zijn echter ook nog andere spiercellen in het hart aanwezig die de prikkel tot samentrekking van het hart opwekken en door het hart verspreiden. Het prikkelen van de hartspier tot samentrekking, ook wel *contractie* genoemd, gaat anders in zijn werk dan het prikkelen van een skeletspier. Bij de skeletspieren brengt een zenuw een signaal over van de hersenen naar de spier. De zenuwcellen prikkelen via een motorisch eindplaatje de spiercel tot samentrekking. Het hart maakt echter zijn eigen prikkels. Dit gebeurt in de sinusknop.

sinusknop De *sinusknop* is een groepje speciale cellen op de wand van de rechterboezem. Ze geven regelmatig een elektrisch signaal af, waardoor de echte spiercellen eromheen samentrekken. Terwijl ze samentrekken, geven ze de prikkel door naar de andere spiercellen, die ook weer samentrekken en de prikkel doorgeven. De wanden van de cellen van de hartspier staan in zeer nauw contact met elkaar. De depolarisatie van de membraanpotentiaal kan daardoor van de ene cel op de andere overgaan, zonder dat er transmitters de ruimte tussen de cellen hoeven over te steken. Er ontstaat dus een depolarisatie- en contractiegolf die begint bij de sinusknop. Deze golf beperkt zich niet tot de rechterboezem, maar slaat ook over op de linkerboezem. Het gevolg is dat beide boezems gelijk samentrekken en hun inhoud in de kamers persen. De elektrische prikkelgolf loopt door het myocard van beide boezems en verzamelt zich ten slotte in een volgend groepje speciale hartspiercellen.

bundel van His Dit groepje cellen heet de *atrioventriculaire knop*, afgekort tot *av-knop*. De *av-knop* wordt door het elektrische signaal geprikkeld om op zijn beurt een prikkel uit te sturen naar de beide kamers. Dit gebeurt via een netwerk van speciale hartspiercellen dat zich in de ventrikels vertakt. Dit netwerk heet de *bundel van His*. Het resultaat is dat de ventrikels gecoördineerd samentrekken en het bloed in de grote slagaders geperst wordt. Als de sinusknop dus een prikkel afgeeft, trekken alle spiercellen in het hele hart samen, eerst in de boezems en iets later in de kamers. Dit is ook een verschil met het samentrekken van de skeletspier. Hier wisselen de spiercellen elkaar af, zodat in een skeletspier nooit alle cellen tegelijk werken.

Na afloop van een contractie rust het hart even uit en herstelt het ionen-evenwicht zich weer tot de situatie van voor de contractie. Dit is de repolarisatie(fase) of *repolarisatieperiode*. Het hart is dan, behalve in noodgevallen, niet te prikkelen tot contractie. De contractiefase van het hart heet de *systole*. De rustfase, waarin het hart weer volloopt met bloed, heet de *diastole*. Tijdens deze pauze worden afvalstoffen afgevoerd en voeding en zuurstof aangevoerd.

Het hart kan zo 24 uur per dag en 365 dagen per jaar, het hele leven lang, blijven kloppen. Deze prestatie is verbazingwekkend. Realiseer je bijvoorbeeld eens dat de hoeveelheid bloed die het hart van een volwassen tekkel van zo'n 10 kg wegpompt, 1,5 liter per minuut is. Dat is per uur 90 liter en 2160 liter per dag. Met andere woorden: het hartje van deze tekkel, dat niet groter is dan een kindervuistje, verplaatst dagelijks een gewicht van meer dan 2 ton! Natuurlijk beschikt een tekkel niet over een dergelijke hoeveelheid bloed. Het hart pompt hetzelfde bloed steeds weer rond. De snelheid waarmee het bloed uit de linkerkamer komt is 50 meter per seconde, dus 180 kilometer per uur. Dit gebeurt met een kracht die een waterstraal 13 meter hoog zou doen komen.

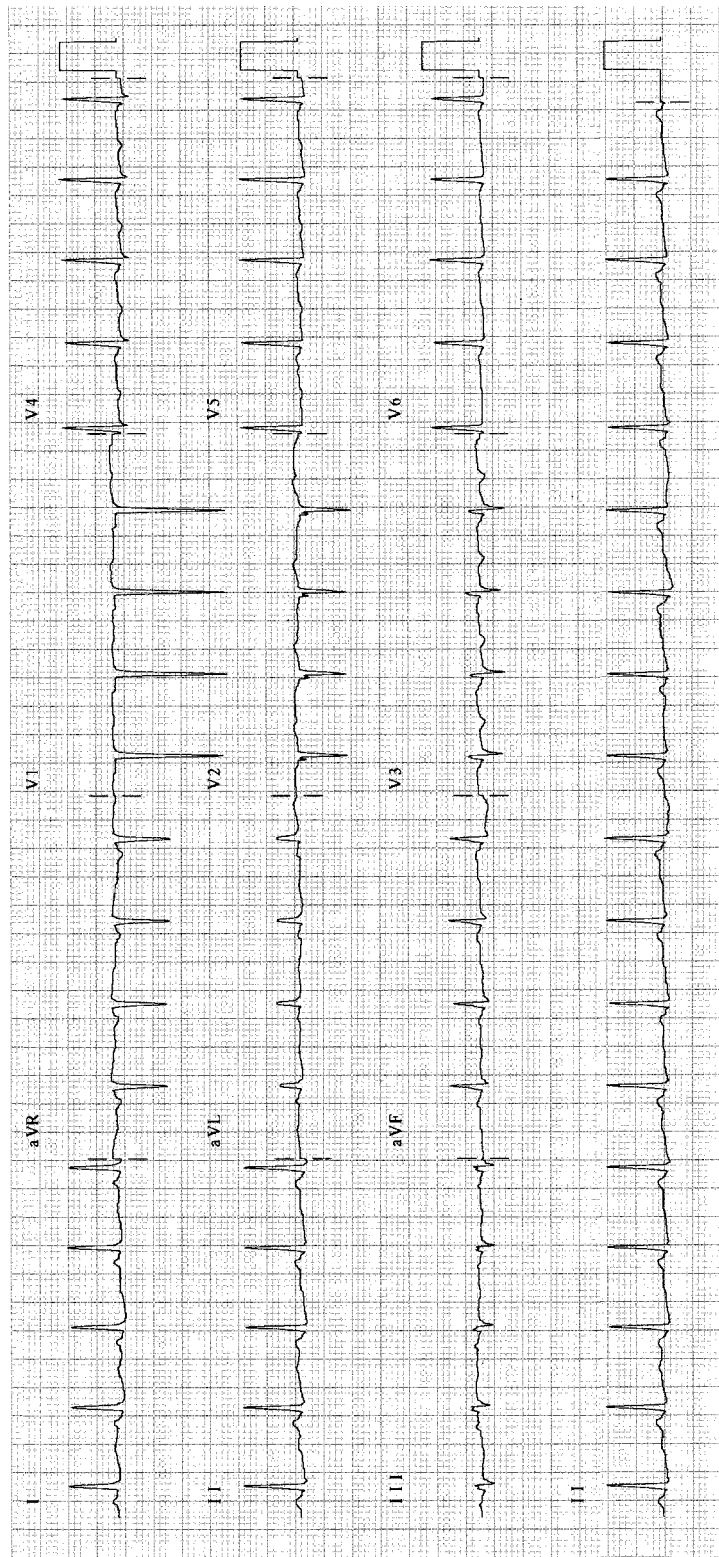
De sinusknoop zelf staat onder invloed van de hersenen via de *nervus vagus*, die een rechtstreekse verbinding vormt tussen de hersenen en de sinusknoop. Als een dier zich inspannt, geven de hersenen de sinusknoop bevel om sneller prikkels te maken, zodat het hart sneller gaat kloppen. Als een dier slaapt, laten de hersenen die sinusknoop in een veel lager tempo prikkels afgeven, zodat de hartslag laag wordt. Het parasympathisch zenuwstelsel overheerst in die situatie.

Beoordeling van het hart

elektrocardiogram

De prikkelvorming en geleiding zijn elektrische fenomenen en kunnen zichtbaar worden gemaakt met een *elektrocardiogram (ECG)*. Daarvoor plaats je op verschillende plekken elektrodes op de huid. Voor een goed contact wordt een langharige vacht geschoren. Er wordt altijd een geleidende gel op de huid aangebracht. De depolarisatie en repolarisatie van de hartspiercellen kan zo op een tv-scherm zichtbaar worden gemaakt of worden uitgeprint. In figuur 2.6 zie je een voorbeeld van zo'n ECG.

Fig. 2.6
Een ECG



Je kunt een aantal zaken uit zo'n ECG opmaken. De *P-top* geeft de depolarisatie en dus de systole van de beide atria weer. Op de *P-top* volgt het *QRS-complex* dat de depolarisatie van de kamers aangeeft. Tussen het begin van de *P-top* en het begin

van het QRS-complex ligt het *PQ-interval*. Deze geeft de tijd aan die tussen het begin van de prikkeling door de sinusknoop en het begin van de prikkeling door de av-knoop zit. Het PQ-interval is een maat voor de snelheid waarmee een hart de elektrische prikkel geleidt.

De repolarisatie van de ventrikels begint aan het eind van het QRS-complex en bereikt zijn elektrische hoogtepunt op de T-top. De repolarisatie van de boezems is niet te zien, want deze wordt overheerst door het QRS-complex. Ziekten van het hart komen tot uiting in abnormale afstanden tussen de P-toppen van opeenvolgende hartslagen, in abnormale vormen van bijvoorbeeld het QRS-complex, en in omgedraaide toppen of te grote intervallen. Met een rekenkundige methode kun je de elektrische hart-as bepalen. Deze hoort aan te geven dat de activiteit van de linker harthelft groter is dan die van de rechter. Dit komt omdat de linker harthelft beter ontwikkeld is dan de rechter.

Je kunt het hart ook op een eenvoudiger manier beoordelen. Het dichtslaan van de av-kleppen en de halvemaaanvormige kleppen geeft namelijk geluid. Bij een grote hond in goede conditie is dit zelfs te horen als je een oor tegen de borstkas drukt. Met een fonendoscoop kun je het dichtslaan van de kleppen nog beter horen. De av-kleppen veroorzaken een geluid dat klinkt als 'brr' en de semilunairkleppen geven een 'tpp'-geluid.

Bloeddruk in de slagaders

Door het samentrekken van de boezems en de kamers, pompt het hart het bloed met grote snelheid de grote slagaders in. Door de kracht waarmee dit gebeurt, zetten de slagaders uit. De kracht waarmee het bloed tegen de wand van een bloedvat drukt, noem je de *bloeddruk*. De bovendruk is de druk die tijdens de systole optreedt en de onderdruk is de druk tijdens de diastole.

In de wand van de aorta liggen cellen die de bloeddruk meten. Als de druk afwijkt van de normale waarde geven deze zintuigcellen dit door aan de hersenen. In de halsslagaders liggen cellen die de pH en de hoeveelheid kooldioxide in het bloed observeren en hun bevindingen aan het autonome zenuwstelsel doorgeven. Het autonome zenuwstelsel herstelt dan bloeddruk, pH en kooldioxideconcentratie, onder meer door vaten te vernauwen of te verwijden en/of de hartslag te verlagen of te versnellen.

Als de golf bloed voorbij is, krimpen de slagaders weer in. Deze golfbeweging van de slagaderwand kun je nog op grote afstand van het hart af voelen, vooral op plaatsen waar slagaders vlak onder de huid liggen. Bij de mens is dat bijvoorbeeld bij de pols. Als je dus bij jezelf de pols opneemt, tel je het aantal hartslagen. Bij hond en kat neem je de 'pols' op aan de liesslagader en bij grotere dieren zoals runderen aan de kaakslagader.

2.2 Slagaders, haarvaten en aders

Nadat het bloed uit het hart geperst is, komt het in de bloedvaten. Er zijn drie soorten bloedvaten:

- slagaders (arteriën);
- haarvaten (capillairen);
- aders (venen).

Slagaders voeren bloed van het hart af naar een orgaan. Ze vertakken zich tot steeds kleinere slagadertjes, *arteriolae* genoemd, en gaan ten slotte over in de haarvaten. De haarvaten verenigen zich tot hele kleine adertjes, de *venolae*, die zich weer verenigen tot steeds grotere aders.

Slagaders

De wand van een *slagader* ofwel de *arterie*, bestaat uit drie lagen en is dik. De middelste laag is van glad, elastisch spierweefsel dat ringvormig is gerangschikt. Als dit weefsel samentrekt wordt de slagader dichtgedrukt en laat hij minder bloed door. Hiervoor zorgen prikkels die uit het verlengde merg komen en via (autonome) zenuwen worden doorgegeven aan het spierweefsel in de wand van de slagaders en slagadertjes. Zo wordt de bloedtoevoer naar een orgaan geregeld.

De dikte van de wand varieert per slagader. De grote lichaamsslagader of aorta heeft een hele dikke wand. Vooral de buitenste laag is zeer sterk ontwikkeld om de hoge bloeddruk te kunnen opvangen. De kleine slagadertjes hebben een zeer dunne wand, omdat de bloeddruk in de kleine slagadertjes veel lager is dan in de grote slagaderen.

De bloedsomloop is vergelijkbaar met een snelstromende beek die uitmondt in een meer. Het water in de smalle beek stroomt veel sneller dan in het brede meer. Het bloed in de aorta stroomt ook heel snel. Deze aorta vertakt zich vervolgens. De gezamenlijke doorsnede van de vertakkingen wordt steeds groter en de uiteindelijke doorsnede van alle haarvaten samen is oneindig veel groter dan de doorsnede van de aorta. De bloeddruk is in deze haarvaten dan ook veel lager dan in de aorta.

Een tweede oorzaak voor de lagere bloeddruk in de haarvaten is wrijving. Als het bloed door de vaten stroomt, treedt er wrijving op tussen het bloed en het endotheel van de wand van de vaten. Die wrijving vermindert de kracht waarmee het bloed voortgestuwd wordt.

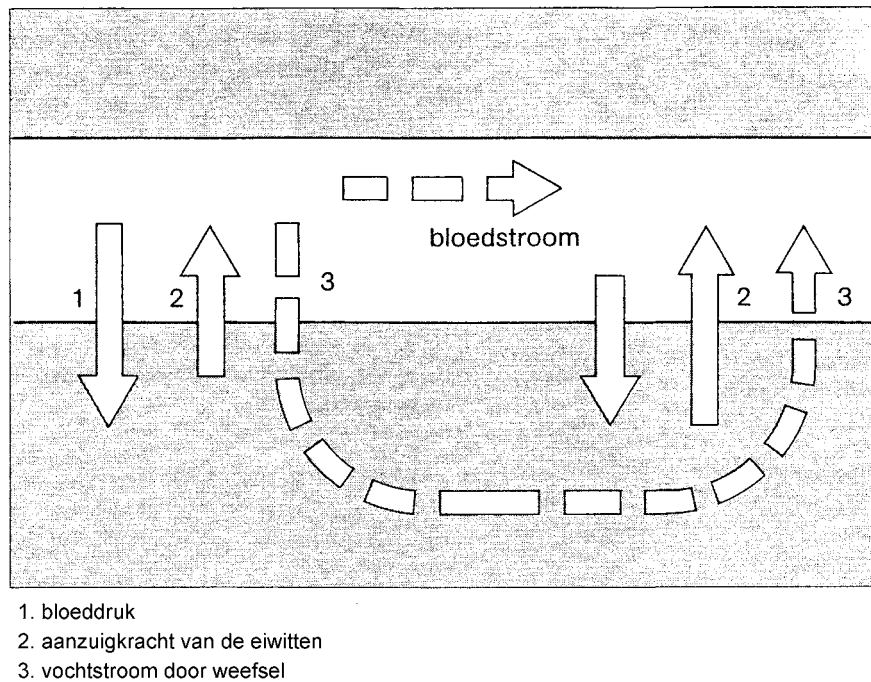
Haarvaten

Haarvaten, ook wel *capillairen* genoemd, hebben een heel dunne wand, die maar uit één cellaag van endotheel bestaat. Zoals je hebt geleerd, kan dat omdat de bloeddruk in deze vaten zeer laag is. De wand van de haarvaten is voorzien van kleine gaatjes. Dat is erg nuttig, omdat zo stoffen uit het bloed makkelijk uit het haarvat naar de cellen van de weefsels kunnen gaan via diffusie. Deze gaatjes noem je *poriën*.

Haarvaten hebben de belangrijkste taak van alle onderdelen van het circulatieapparaat. Zij zorgen ervoor dat de stoffen die elke cel nodig heeft, uit de

bloedbaan naar die cellen toe kunnen komen. Ook voeren ze de (vaak giftige) afvalstoffen af. De totale lengte van alle haarvaten bij elkaar is bij een volwassen mens 100.000 km. Ter vergelijking: de totale lengte van de grote lichaamsslagader van een mens is slechts 50 cm. Omdat dit haarvatenstelsel zo uitgebreid is, ligt praktisch elke cel in het lichaam dicht bij een bloedvaatje, zodat de voedingsstoffen en afvalstoffen maar een kleine afstand van en naar het bloed hoeven af te leggen. Bovendien stroomt het bloed in de haarvaten erg langzaam. Er is dus tijd om allerlei stoffen aan de cellen af te geven en afvalstoffen weer op te nemen.

Fig. 2.7
Afgifte en opname van stoffen door bloed in de haarvaten



Figuur 2.7 laat zien hoe de afgifte en opname van stoffen in zijn werk gaat. In het begin van een capillair wordt door de bloeddruk vocht met daarin allerlei voedingsstoffen uit het vat geperst. Dat kan makkelijk, aangezien de wand van een haarvat zo dun is en er bovendien poriën in zitten. De voedingsstoffen zijn nu dus in de tussencelstof gekomen. Via diffusie bewegen ze zich naar de cellen. Daar worden ze opgenomen en verbruikt.

Niet alle bestanddelen van het bloed kunnen door de wand van een haarvat. De grote eiwitmoleculen kunnen niet door de poriën heen, laat staan dat ze door de wand zelf kunnen dringen. Ook rode bloedcellen kunnen dat niet. Ze zijn immers veel groter dan de eiwitmoleculen. Witte bloedcellen kunnen wel door de poriën heen, doordat ze zich sterk kunnen vervormen. Daardoor zijn er aan het eind van het haarvat meer eiwitten en rode bloedcellen per milliliter bloed dan aan het begin. Er is namelijk vocht uit de bloedvaten verdwenen, terwijl de eiwitten en rode bloedcellen er in zijn gebleven. Met andere woorden: de osmotische waarde van het bloedplasma is aan het eind van een haarvat hoger dan aan het begin.

Het gevolg is dat het bloedplasma aan het eind van het haarvat een zeer sterke aantrekkende kracht uitoefent op de tussencelstof van het weefsel waar het haarvat

doorheen loopt. De bloeddruk in het eind van het haarvat is daarentegen lager dan de bloeddruk aan het begin van het haarvat. De bloeddruk is aan het begin van een haarvat hoger dan de aantrekkende kracht van de eiwitten. Daardoor wordt het vocht uit het haarvat geperst en gaat het naar de omliggende weefsels.

Aan het eind van het haarvat is het precies omgekeerd. De kracht van de bloeddruk is nu lager dan de aantrekkende kracht. Dus wordt er vocht - met daarin allerlei afvalproducten van de cellen - het haarvat ingezogen. Er ontstaat rond een haarvat dus een microscopisch klein vochtstroompje. Dit loopt langs alle cellen van de weefsels. Het vocht brengt de cellen de voedingsstoffen die ze nodig hebben en voert de afvalstoffen terug naar het bloed.

Aders

De haarvaten vertakken zich als een net tussen de cellen van de weefsels en verenigen zich dan weer tot kleine adertjes (*venolae*), die zich weer verenigen tot steeds grotere aders. Ten slotte komt het bloed via een vijftal aders terug in het hart. Aders voeren het bloed dus van een orgaan naar het hart toe.

De wand van een ader is dunner dan de wand van een slagader, terwijl de doorsnede veel groter is. Dat kan omdat de bloeddruk in de aders maar ongeveer 1/10 is van de bloeddruk in de slagaders. Het bloed stroomt er veel langzamer. Vooral de spierlaag van een ader is veel dunner dan die van een slagader. In de grootste aders ontbreekt deze spierlaag zelfs vaak.

Bloeddruk in de aders

De bloeddruk in de venen wordt niet veroorzaakt door het hart. De kracht van het hart is namelijk maar net voldoende om het bloed door de capillairen te stuwen. Spieren zorgen ervoor dat het bloed naar het hart wordt gepompt. Dit werkt als volgt. Aders lopen door glad spierweefsel, dwarsgestreept of hartspierweefsel heen. Als spieren samentrekken worden ze niet alleen korter, maar ook dikker. De aders die door die spieren lopen, worden dus samengedrukt. Het bloed in die aders wordt daardoor weggedrukt. Het kan dan in principe maar twee kanten op: naar het hart toe of van het hart af. Kleppen in de aders verhinderen echter dat het bloed van het hart afstroomt, zoals je zag in figuur 2.5. Het resultaat van het contraheren van de spieren rond de venen is dus dat het bloed naar het hart geperst wordt.

Er is nog een tweede reden waardoor het bloed naar het hart toe beweegt. Het hart ligt in de borstholte. Daar heerst een lagere druk dan in de rest van het lichaam. Het bloed wordt daardoor de borstholte ingezogen. De antagonisten van de hartspier zijn dus de dwarsgestreepte en gladde spieren in de rest van het lichaam en de onderdruk in de borstholte.

Anastomosen

Bloedvaten kunnen verstopt raken door bijvoorbeeld trauma of tumoren. In de meeste organen gaan er daarom meerdere arteriën naar één bepaald gebied. Als er dan een arterie verstopt raakt, zal het bloed, meestal met een omweg, via een andere arterie naar het betreffende gebied gaan, zodat het toch in leven blijft. Zo'n alternatieve route heet een *anastomose*.

In de hersenen, de nieren en het hart zijn geen anastomosen aanwezig. Iedere arterie verzorgt daar zijn eigen gebied en er zijn geen verbindende slagadertjes tussen de diverse verzorgingsgebieden. De arteriën in hersenen, nieren en hart heten dan ook *eindarteriën*. Als een eindarterie verstopt raakt, krijgt zijn verzorgingsgebied geen zuurstof meer en kan er geen kooldioxide meer worden afgevoerd. Binnen enkele minuten zullen de cellen sterven. Je spreekt dan over een infarct.

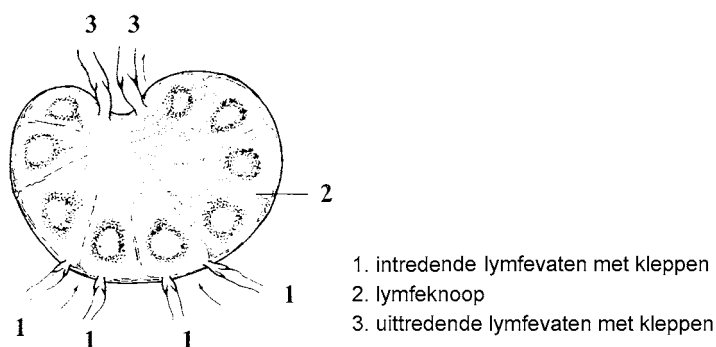
2.3 Lymfevaten en lymfeknopen

Het afgifte- en opnamesysteem dat de vochtstroom rond de haarvaten veroorzaakt, werkt niet perfect. Er wordt voortdurend iets meer vocht uit het haarvat geperst dan er aan het eind wordt terug gezogen. Je noemt dit overschot aan vocht *lymfe*. Een systeem van lymfevaten verwijdert deze extra hoeveelheid vocht weer uit de weefsels. Je leest nu hoe dit in zijn werk gaat.

De lymfe wordt door de druk van het weefsel in de lymfebaan geperst. Dit proces is vergelijkbaar met het uitoefenen van druk door de spieren op de aders. Een lymfebaan begint blind, dat wil zeggen dat er geen opening aan het eind is. De lymfe gaat dwars door de wand heen. De afzonderlijke, microscopisch kleine lymfevaten verenigen zich tot steeds grotere. Ten slotte komen ze samen in een grote lymfebuis, de *ductus thoracicus*, in de borstholte, die uitmondt in een van de grote aders die rechtstreeks naar het hart gaan. Op deze manier komt de lymfe dus weer in het bloed terecht.

In de lymfevaten tref je de *lymfeknopen* aan, ook *lymfeklieren* genoemd. Lymfeknopen zijn boonvormige orgaantjes van 0,5 tot 1,5 cm groot. Ze bestaan uit bindweefsel en bevatten veel witte bloedcellen, die een belangrijke taak hebben in het afweersysteem van het lichaam. Iedere lymfeknoop krijgt zijn lymfe toegevoerd uit een bepaald eigen gebied.

Fig. 2.8
Lymfeknoop



De lymfeknopen geven aanwijzingen over de gezondheid van een dier. Daarom worden oppervlakkig gelegen en dus goed te betasten lymfeknopen bij het standaard klinisch onderzoek beoordeeld. Onder de basis van de oorschelp ligt de lymfonodulus (afgekort tot In) parotidicus, bij de kaakomslag liggen enkele lymfonoduli (Inn) mandibularis. Vlak vóór het schouderblad, diep in de spiermassa, liggen de Inn prescapularis en in de oksel de In axillaris. Bij de reu ligt in de huidplooi waaraan de penis is bevestigd de Inn inguinalis superficialis. In de knieholte ligt de In popliteus. Alle hier genoemde Inn zijn zowel in de linker als rechter lichaamshelft te vinden.

Bij een infectie vermeerderen de T- en B-cellen zich in de lymfeknopen. Daardoor zwelt de lymfeknoop sterk op en wordt harder en pijnlijk bij betasten. De apc's, die als eerste in contact komen met antigeen, reizen via de lymfebaan naar de dichtstbijzijnde lymfeklier. In die lymfeklier zullen de lymfocyten dus als eerste reageren en zwelling veroorzaken. Als er bijvoorbeeld in de huid onder de nagel van de linker voorpoot een schimmelinfectie is, zal de ln axillaris van de linker voorpoot reageren en hard, groot en pijnlijk worden. Als bij het klinisch onderzoek dus een vergrote ln axillaris links wordt gevonden, richt de dierenarts zijn verdere onderzoek vooral op de linker voorpoot. Bij een tumor in de huid, kunnen er tumorcellen loslaten en zich via de lymfebaan verplaatsen. Ze komen dan ook in de lymfeknoop terecht. Als ze zich daar gaan delen, ontstaat er ook een tumor in de lymfeknoop.

Uiteraard zijn er nog talloze andere lymfeknopen. Ze zijn echter te klein of liggen te diep in het lichaam om ze te kunnen betasten. Soms zijn echter de lymfeknopen in de buikholte bijvoorbeeld door tumoren zo groot, dat je ze wel kunt voelen tijdens het klinisch onderzoek.

2.4 De ligging van het circulatieapparaat

Tot nu toe heb je iets geleerd over de verschillende onderdelen van het circulatieapparaat en hun functie. Waar deze onderdelen precies zijn gesitueerd en hoe ze op elkaar zijn aangesloten, komt nu aan de orde. Je maakt daarbij onderscheid tussen de kleine circulatie, oftewel de kleine bloedsomloop, en de grote circulatie of grote bloedsomloop. Je zult zien dat het lichaam een uitgebreid netwerk van slagaders, aders en haarvaten bevat. En vergis je niet: Het bloed stroomt heel snel door de bloedbaan. In ongeveer 30 seconden is al het bloed in het hele lichaam door de kleine en grote bloedsomloop gegaan.

De borstholte

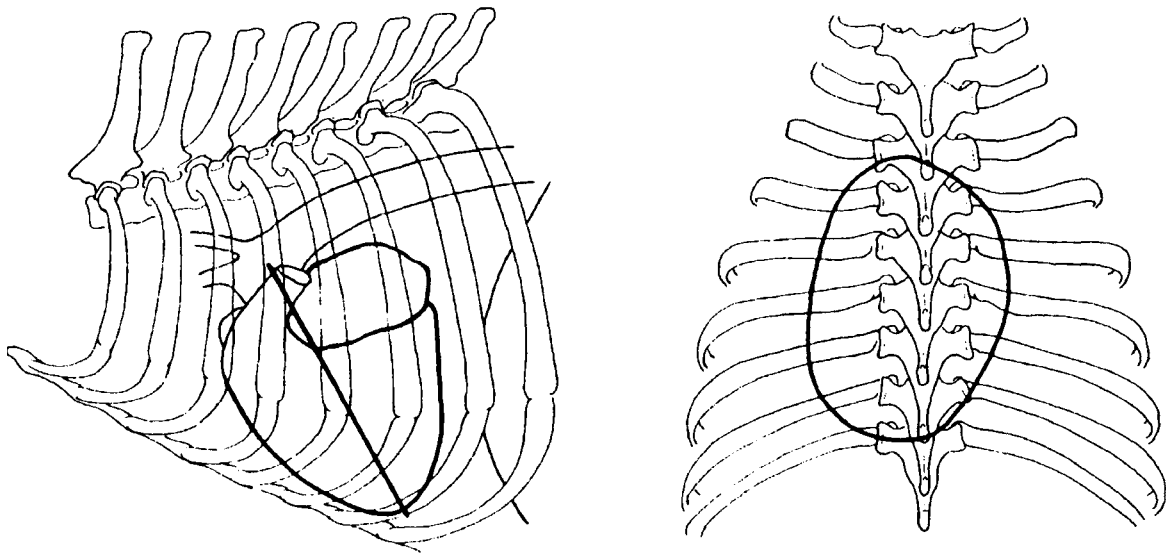
Grote delen van het circulatieapparaat liggen in de borstholte, de *thorax* genoemd. Het bekendste deel is wel het hart. De borstholte wordt gevormd door een kooi van botten, die het hart, maar ook de longen, beschermt. Aan de onderkant (ventraal) van die kooi zit het borstbeen, aan de beide zijkanten (lateraal) vind je de ribben en aan de bovenkant (dorsaal) de wervelkolom. Uiteraard zijn de beenderen omhuld met en verbonden door spieren, banden en bindweefsel.

Aan de achterkant (caudaal) grenst de borstholte aan de buikholte. Het middenrif of diafragma vormt de grens. Dit is een plaat van spierweefsel en bindweefsel, die aan de voorkant (craniaal) is bedekt met de pleura parietalis en aan de caudale kant met het buikvlies. Het diafragma is stevig verbonden aan de ribboog en heeft een koepelvorm. De punt van de koepel ligt in de borstkas. Als de spieren zich spannen wordt het middenrif platter en de borstholte daardoor groter. Aan de voorkant wordt de borstholte alleen afgegrensd door het onderhuids bindweefsel en de huid. Met een scherp voorwerp steek je er zo doorheen. Op deze manier neem je bijvoorbeeld bij het varken bloed af uit een grote ader in de borstkas.

In figuur 2.9 zie je waar het hart precies in het lichaam zit. De linker afbeelding is een zijaanzicht, gezien van de linkerkant van het dier. De rechter afbeelding toont de

plaats van het hart zoals je het van bovenaf ziet. Het valt je misschien op dat het hart ver naar voren in de borstkas ligt. De punt van het hart maakt bijna contact met het middenrif. Het hart staat niet precies rechtop maar helt schuin naar voren. Ook ligt het niet in het midden van de borstholte, maar voornamelijk links. Dat is dan ook de reden dat je het kloppen van het hart beter links dan rechts kan voelen.

Fig. 2.9 De ligging van het hart in het lichaam van de hond



De hartslag, de *ictus cordis* genoemd, voel je door je hand stevig tegen de borstkas van het dier aan te drukken en naar de oksel te laten glijden. Vlak onder de elleboog neem je dan de hartslag waar, aan de linkerkant duidelijker dan aan de rechterkant. Bij grote, slanke honden zoals greyhounds, is aan de linkerkant het kloppen van het hart zelfs te zien. Uit het hart komen twee slagaders tevoorschijn: de *longslagader* (*arteria pulmonalis*) en de *aorta*. De longslagader is een deel van de kleine bloedsomloop, de aorta is een deel van de grote bloedsomloop.

De kleine bloedsomloop

Onder de kleine bloedsomloop vallen:

- de rechterboezem (rechter atrium);
- de rechterkamer (rechter ventrikel);
- de longslagader (*arteria pulmonalis*);
- de vertakkingen van de longslagader (*rami pulmonalis*);
- het haarvatennet in de longen;
- de longaders (*venae pulmonales*).

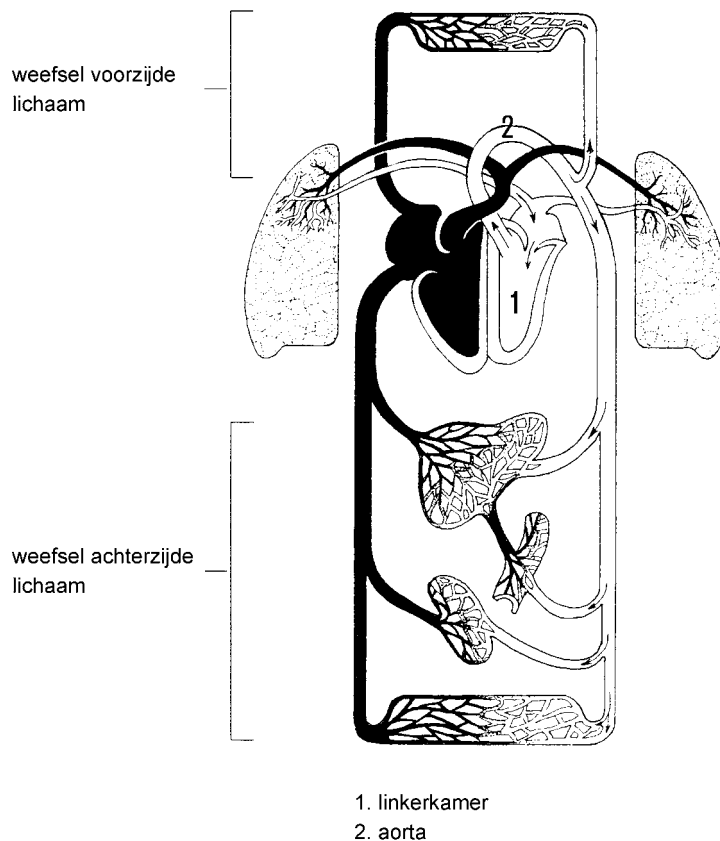
De kleine bloedsomloop is in figuur 2.10 weergegeven. Het donkere gedeelte in de tekening geeft bloed weer dat weinig zuurstof bevat, het lichte gedeelte geeft bloed weer dat veel zuurstof bevat. De kleine bloedsomloop begint bij de rechterboezem. Het bloed bevat hier veel kooldioxide en weinig zuurstof. Het komt immers net uit de weefsels, die zuurstof hebben verbruikt en kooldioxide als afvalstof hebben afgegeven. De rechterboezem pompt het bloed dat uit het lichaam komt in de

rechterkamer, die daardoor optimaal gevuld wordt. De rechter ventrikel stuwt het bloed vervolgens de longslagader in.

De longslagader splitst zich in een linkertak (*ramus sinister*) naar de linkerlong en een rechterslagader (*ramus dexter*) naar de rechterlong. Deze lopen langs de grote bronchiën oftewel de grote longtakken. Op het punt waar de grote bronchiën zich splitsen, vertakken de rami zich ook weer tot kleinere slagaders. De slagaders vertakken zich steeds verder en gaan ten slotte over in een haarvatennetwerk rond de longblaasjes.

Zoals je inmiddels weet, wordt in de longblaasjes kooldioxide afgegeven en zuurstof opgenomen door het bloed. De kleine bloedsomloop dient dan ook uitsluitend om zuurstof uit de longen in het bloed op te nemen en om kooldioxide af te geven, ten behoeve van alle cellen in het hele lichaam. De haarvaatjes die rond de longblaasjes zitten verenigen zich tot steeds grotere adertjes. De uiteindelijke longaders voegen zich echter niet samen tot één grote ader, maar er komen zes of zeven aders (*venae pulmonales*) uit in de linkerboezem.

Fig. 2.10
De bloedsomloop



De grote bloedsomloop

De *grote bloedsomloop* omvat:

- linkerboezem (linker atrium);
- linkerkamer (linker ventrikel);
- lichaamsslagader (aorta);
- aftakkingen van de aorta naar elk orgaan en lichaamsdeel;

-
- vertakkingen van deze slagaders;
 - haarvatennetten in het gehele lichaam;
 - aders in het gehele lichaam;
 - de grote holle aders (vena cava anterior en vena cava posterior).

Ook de grote bloedsomloop kun je bestuderen met figuur 2.10. De grote bloedsomloop ontvangt het bloed uit de longaders. Dit stroomt vervolgens in de linkerboezem, die het bloed in de linkerkamer stuwt. De linkerkamer pompt het bloed dan in de aorta.

De bloedvoorziening van het hart

kransslagaders

De aorta geeft vlak na het hart twee takken af. Dit zijn de *kransslagaders* (de *arteria coronaria dextra* en de *arteria coronaria sinistra*) die bloed naar het hart zelf voeren. Net als alle andere slagaders gaan ze over in een haarvatennetwerk. Dat netwerk is heel erg dicht, omdat het hart door het harde werken veel zuurstof en voeding nodig heeft. De haarvaten komen weer samen en vormen steeds grotere aders. Deze lopen langs de slagaders. Ten slotte komt het bloed dat het hart heeft gevoed via twee grote aders, de *vena cordis dextra* en *vena cordis sinistra*, in de rechterboezem. De slagaders in het hart zijn eindarteriën.

De bloedvoorziening van het lichaam

aortaboog

De aorta loopt in een boog van het hart naar boven, naar de wervelkolom toe. In de buiging takken zich grote slagaders af die naar de kop, voorhand en de buikholte lopen. Dit deel van de aorta heet *aortaboog*. De aorta loopt langs de wervelkolom in de richting van de staart (caudaal) verder. In de borstkas takken zich slagaders af die de borstkaswand, dus de ribben en tussenribspieren, van bloed voorzien. Ook het middenrif heeft een aantal slagaders dat direct uit de aorta komt, net als de slokdarm en de ruggengraat.

buikaorta

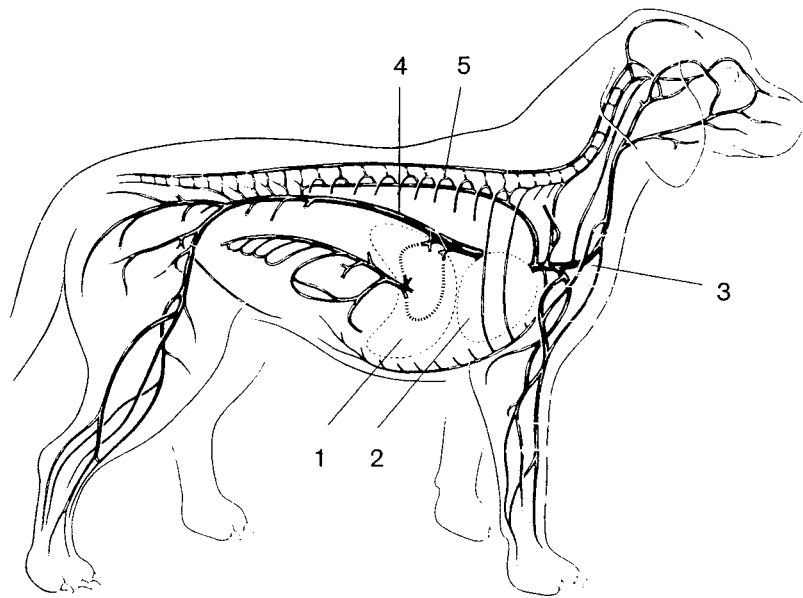
Vervolgens gaat de aorta door het middenrif heen en komt hij in de buikholte. Je noemt hem dan de *buikaorta*. Vanaf de buikaorta lopen er slagaders naar elk orgaan in de buikholte. Zo gaat er een slagader naar de lever, de maag, de alvleesklier, de nieren en de milt. De darmen ontvangen bloed via drie verschillende aftakkingen van de buikaorta. De eierstokken krijgen bloed van de linker en rechter *arteria ovarica*. Deze twee takken rechtstreeks af van de aorta en lopen in de ophangbandjes van de eierstokken. De baarmoeder krijgt bloed van arteriën die indirect aftakken van de aorta en van caudaal naar craniaal (dus van achter af naar voren) over de baarmoeder lopen: de *arteria uterina caudalis* en de *arteria uterina medialis*. Tussen deze drie arteriën zijn anastomosen. Ook voorziet de buikaorta de buikspieren, ruggengraat en de buikkant van het middenrif van bloed.

arteria axillaris
arteria femoralis

In de bekkenholte splitst de aorta zich op in vier delen. Twee van de slagaders gaan naar de achterpoten. De twee andere voorzien de onderbuik en de blaas van bloed. De vier slagaders die naar de voor- en achterpoten gaan, lopen via oksels (*arteria axillaris*) en liezen (*arteria femoralis*). In de poot geven ze takken naar alle spieren en botten, huid en onderhuid. Aan deze *arteria femoralis* kun je het kloppen van het bloed voelen dat door het hart in golven wordt voortgestuwd. Dit is dan ook een van de plaatsen waar je de 'pols' van de hond en de kat kunt voelen. Dit gaat als volgt.

	Ga achter het dier staan en pak de voorkant van de dijen beet, terwijl je vingertoppen de binnenkant van de dij betasten. Als je je vingers van achter naar voren laat glijden, zul je de slagaders als een dun, hard buisje kloppend voelen tussen twee spieren in. Druk niet te hard, anders is het kloppen niet te voelen. Bij grote dieren, zoals het paard en het rund, neem je de pols op aan de arteria maxillaris externa. Deze loopt vanaf de keelstreek naar de binnenkant van de onderkaak en komt naar lateraal aan de voorrand van de kauwspieren. Bij de mens is de pols daar ook goed te voelen.
<i>a. subclavia sinistra</i>	De voorste delen van het lichaam worden van bloed voorzien door twee slagaders, de <i>a. subclavia sinistra</i> en de <i>a. brachiocefalica</i>, die uit de aortaboog komen. <i>a. brachiocefalica</i> Ze lopen langs de bovenkant van de luchtpijp en geven daar takken af naar de voorste ribben en naar de verschillende structuren van de hals en de nek. Ten slotte vertakken deze twee slagaders zich naar alle weefsels en organen van de kop. Zo lopen er tussen de slokdarm en de luchtpijp in twee grote slagaders naar de kop:
<i>a. carotis communis dextra</i>	de <i>a. carotis communis dextra</i> en de <i>a. carotis communis sinistra</i>.
<i>a. carotis communis sinistra</i>	Deze splitsen zich op hun beurt weer in kleinere slagaders die onder meer naar de hersenen, de kauwspieren en de speekselklieren lopen.
<i>haaratennet</i>	Zoals je al zag, vertakken de slagaders zich ter plaatse steeds fijner. Op den duur vormen ze een <i>haaratennet</i>. Het haaratennet gaat weer over in kleine aderen die zich tot steeds grotere verenigen. Ze lopen langs de slagader die het bloed naar het desbetreffende groepje cellen brengt. Daarbij ligt de slagader dieper in het lichaam en de ader oppervlakkiger. Langs de slagader en de ader loopt meestal ook de zenuw die het betreffende gebied innerveert. Dit geldt vooral voor de grote aders. Soms liggen deze zeer oppervlakkig. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de aders aan de binnenkant van de hak (<i>vena saphena</i>) en die aan de buitenkant van de onderarm (<i>vena cephalica</i>). Ook de halsaders (<i>vena jugularis</i>) liggen zeer oppervlakkig. De twee venae jugulares lopen langs de luchtpijp. Omdat al deze aders zo dicht onder de huid liggen worden ze vaak gebruikt voor het afnemen van bloed.

Fig. 2.11
Een schematische
weergave van de grote
aders in het lichaam van
de hond



1. lever
2. hart
3. voorste holle ader
4. achterste holle ader
5. vertakkingen van de aders in de wervels

vena cava anterior

vena cava posterior

Ten slotte komen alle aders die bloed afvoeren uit de voorste helft van het lichaam, uit op een grote ader: de voorste holle ader oftewel de *vena cava anterior*.

Hier voegt ook de lymfe zich weer bij het bloed. Het bloed uit de achterste helft komt uit in de achterste holle ader, de *vena cava posterior*.

De beide holle aders monden uit in de rechterboezem. En daar begint de kleine bloedsomloop weer.

Het poortaderstelsel in de buikholte

De venen uit de maag, de dunne en de dikke darm, de pancreas en de milt verenigen zich tot één grote ader: de *poortader* of *vena portae*. Deze voert bloed dat zeer rijk is aan voedingsstoffen naar de lever en vormt daar opnieuw een haarvatennet. De haarvaten verenigen zich tot aders en het bloed uit de lever komt nu pas in de achterste holle ader.

De lever is verantwoordelijk voor de eerste verwerking van voedingsstoffen uit de darm en kan dat door de aanwezigheid van het poortaderstelsel heel efficiënt doen. Door de poortader is er bovendien een heel korte verbinding tussen de alvleesklier en de lever. Als het nodig is om de lever te instrueren via het hormoon insuline, hoeft het insuline dus niet eerst door het hele lichaam te gaan via de rest van de grote circulatie, het hart en de kleine circulatie om via hart en (buik)aorta pas de lever te bereiken. De regeling van de lever door insuline is door de aanwezigheid van de *vena portae* dan ook heel nauwkeurig.

Dieren met suikerziekte maken niet voldoende insuline en moeten insuline per injectie toegediend krijgen. Deze injectie kan vanzelfsprekend niet in de *vena portae* gegeven worden, omdat die immers diep in de buikholte ligt. Dat is één van de redenen waarom een dier nooit voor de volle 100% correct ingesteld kan worden op insuline. De levensduur van een dier met suikerziekte is daarom altijd korter dan normaal.

2.5 Afsluiting

Na bestudering van dit hoofdstuk weet je wat een circulatieapparaat is en wat zijn belangrijkste taken zijn. Je hebt in grote lijnen de anatomie van het hart bestudeerd en kent nu de werking ervan en de prikkelgeleiding erin. Je zult met de begrippen slagader, ader en haarvat inmiddels goed vertrouwd zijn en weten hoe je de 'pols' bij een dier kunt waarnemen.

De anatomie op microscopisch niveau hoef je alleen in grote lijnen te kennen. Je moet echter wel weten wat er in de haarvaten gebeurt en wat lymfe is. Daarnaast is het belangrijk te weten hoe het hart in de borstkas ligt en hoe de grote bloedvaten lopen. Leer ook het verschil tussen de kleine en grote bloedsomloop goed.

- Vragen 2.1**
- a Waaruit bestaat het circulatieapparaat?
 - b Wat is de taak van het hart?
 - c Geef de Latijnse namen van de vier lagen van het hart.
 - d Wat is serosa?
 - e Welke holten worden er in het hart onderscheiden?
 - f Welke verschillen zijn er tussen deze holten?
 - g Wat is de taak van de sinusknop, de av-knop en de bundel van His?
 - h Is het hart tijdens de refractaire periode te prikkelen tot contractie?
 - i Geeft de P-top de diastole of de systole van de atria weer?
 - j Hoe worden instructies van de hersenen overgebracht naar het hart?
 - k Wat meten de zintuigjes die in de aorta liggen?
 - l Waar kun je bij een paard de 'pols' opnemen?
- Vragen 2.2**
- a Welke drie soorten bloedvaten zijn er?
 - b Wat is de taak van de haarvaten?
 - c Welke twee krachten zorgen ervoor dat bloed door de aders naar het hart toe stroomt?
 - d Wat is een eindarterie?
- Vragen 2.3**
- a Wat is lymfe?
 - b Wat is de ductus thoracicus?
 - c Welke lymfeknopen worden vaak onderzocht?
- Vragen 2.4**
- a Waar ligt het hart?
 - b Beschrijf de grenzen van de thorax.
 - c Uit welke delen bestaat de kleine circulatie?
 - d Waar begint de longslagader?
 - e Wat is de taak van de kransslagaders?
 - f Kan er door de blokkering van een slagader in het hart een infarct ontstaan?
 - g Hoe loopt de aorta?
 - h Welke twee arteriën voeren bloed toe naar de ovaria?
 - i Hoe eindigt de aorta?
 - j Waar ligt de arteria carotis communis?
 - k Noem drie aders die veel gebruikt worden voor het afnemen van bloed.
 - l Via welke twee grote bloedvaten keert het bloed terug in het hart?

3 Het ademhalingsapparaat

Oriëntatie

Het ademhalingsapparaat, ook wel respiratieapparaat of simpelweg de luchtweg genoemd, heeft met het bloed en het circulatieapparaat een belangrijke overeenkomst: de transportfunctie. Het voert zuurstof aan uit de buitenlucht en voert kooldioxide af uit het lichaam. Als je verkouden bent merk je al hoe lastig het is als de ademhaling niet goed verloopt: je voelt je benauwd en je luchtwegen zitten vol slijm. Ook voor een dier is het bezit van een gezond ademhalingsapparaat belangrijk. Het ademhalingsapparaat bestaat uit neus, keel, strottenhoofd, luchtpijp, bronchiën, longen, longvliezen, borstkas, middenrif en ademhalingsspieren. Dit zijn de onderdelen die in dit hoofdstuk aan de orde komen.

3.1 Neus, keel en strottenhoofd

Het reukorgaan is bij honden en katten vaak goed ontwikkeld. Vooral honden hebben op dit gebied een reputatie hoog te houden. Denk maar eens aan de hasjhonden op het vliegveld. Maar een neus is niet alleen om mee te ruiken. Net als mensen gebruiken dieren hun neus ook voor het ademen. De lucht die uit de neusholte komt, stroomt vervolgens in de keelholte en passeert daarna het strottenhoofd. Al deze onderdelen - de neus, de keel en het strottenhoofd - worden in deze paragraaf behandeld.

De neus

De neus (*nasos*, *rhinos*) begint bij de *neusspiegel* (*planum nasale*) en de *neusvleugels*. Het is hun taak de lucht de neusholte in te geleiden. Dat moet met zo weinig mogelijk weerstand gebeuren, zodat het ademen zo weinig mogelijk energie verlangt. De twee neusgaten zijn het begin van de linker en rechter neusholte en worden van elkaar gescheiden door het *septum nasale*. Het septum bestaat aan de voorkant uit kraakbeen, dat bedekt is met slijmvlies, en dieper de schedel in, uit bot, dat ook bedekt is met slijmvlies. Het planum nasale is zeer goed doorbloed. Dit leidt bij trauma tot heftige bloedingen.

De huid van de neusspiegel gaat over in het slijmvlies van de twee neusholten, dat net als de huid een dekweefsel is. Het verschil met de huid is dat de cellen van een slijmvlies niet verhoornen. Slijmvlies is daardoor niet zo stevig als huid. Het kan ook minder goed water vasthouden, waardoor het gemakkelijk uitdroogt en cellen kunnen afsterven. Slijmvlies bevat daarom kliercellen, die een slijmlaag produceren. Daar komt ook de naam van het vlies vandaan. Behalve het vochtig houden van de cellen van het slijmvlies, heeft het slijm nog andere taken. Het vormt alleen al door zijn dikte en taaiheid een laag waar bacteriën maar moeilijk doorheen kunnen. Bovendien bevat het stoffen die indringers onschadelijk kunnen maken.

De *traanbuis* die het traanvocht uit de ogen afvoert, komt in de neus uit. Doordat er voortdurend traanvocht over het neusslijmvlies loopt, blijft dit vochtig. Het traanvocht helpt op die manier ook bij het vochtig houden van de inademingslucht. Het slijmvlies van een deel van het ademhalingsapparaat (tot en met de bronchiën) heeft *trilhaarcellen*. Dat zijn cellen met ontelbaar kleine uitlopers, de zogenaamde *trilhaartjes*. Deze maken een wuivende beweging, waarmee ze de slijmlaag die erbovenop ligt naar craniaal duwen. Alle ongerechtigheden worden zo afgevoerd.

De *neusholten* zijn bij de hond en de kat geen lege ruimtes, maar worden opgevuld door de *neusschelpjes* of *conchae*. Dit zijn plooien van slijmvlies die opgehouden worden door kraakbeenstructuren. Deze conchae vergroten het oppervlak van de neusholte, waardoor de lucht langer contact maakt met het slijmvlies.

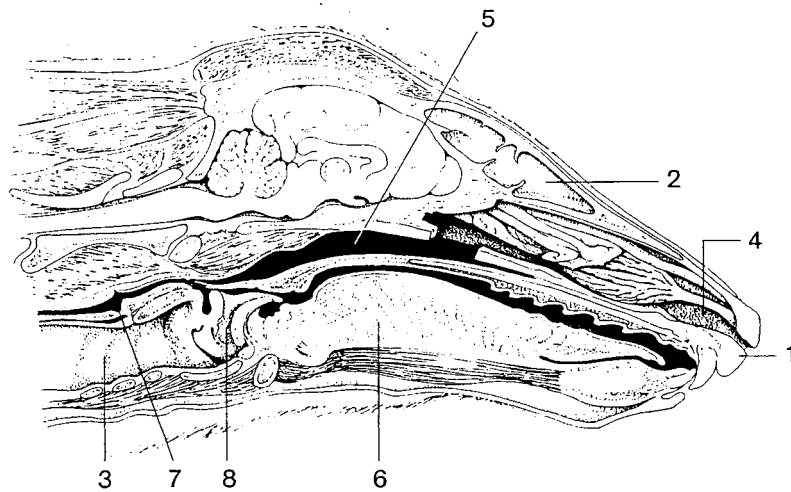
De neusholten worden door de conchae ieder in drie gangen verdeeld.

De bovenste gang voert de lucht naar het reukzintuig. Onder het slijmvlies van het reukzintuig liggen zenuwcellen. Hun dendrieten steken tussen de epitheelcellen door en zijn bezet met receptoren die contact maken met geurstoffen in de inademingslucht. Door dit contact veranderen de receptoren en brengen ze een depolarisatie van de membraanpotentiaal op gang. De axonen van de zenuwcellen verenigen zich tot de *nervus olfactorius*, die via een aantal gaatjes in het zeeffbeen de hersenen bereikt. Bij hond en kat is het oppervlak van het reukzintuig erg groot en sterk geplooid. Er zijn heel veel zenuwcellen, wel 20.000 per cm², die geurstoffen kunnen waarnemen. De reuk is voor de hond en de kat van buitengewoon belang.

De onderste twee gangen leiden de lucht naar de keel toe. De taak van de neusholte is het doorgeleiden van de lucht. Ook dit mag zo weinig mogelijk energie kosten. De lucht wordt tevens verwarmd en vochtig gemaakt. Dat is erg belangrijk voor de gezondheid van het dier. Als de conchae operatief worden verwijderd, is er minder contact tussen de inademingslucht en het slijmvlies. De lucht wordt dus minder goed bevochtigd en verwarmd en komt te koud en te droog in de longen aan. Dat heeft weer tot gevolg dat de longen uitdrogen en te veel afkoelen, waardoor hun weerstand tegen infecties vermindert. Dergelijke dieren krijgen dan ook snel ernstige longontstekingen.

De middelste neusgang staat in verbinding met holten in de schedelbotten, zoals in figuur 3.1 is weergegeven. Deze holten worden *sinussen* genoemd. Ze dienen ervoor om de schedel wat lichter te maken. Bij de hond en de kat is er alleen een holte in het voorhoofdsbeen, de *sinus frontalis* genaamd.

Fig. 3.1
Een doorsnede van de
schedel van een hond



- 1. neusvleugel
- 2. sinus
- 3. luchtpijp
- 4. neusholte
- 5. keelholte
- 6. tong
- 7. slokdarm
- 8. strottenhoofd

Keel en strottenhoofd

De *keelholte* (*pharynx*) is, net als de neusholte, bedekt met slijmvlies. Aan de bovenkant wordt de keel afgegrensd door de onderkant van de hersenpan, de schedelbasis genoemd, en aan de zijkanten door spieren. De voorkant staat in verbinding met de neusholte en met de mondholte. Het deel van de keelholte dat aan de neusholte grenst heet *nasopharynx*, het deel dat aan de mondholte grenst heet *oropharynx*. Aan de achterkant gaat de nasopharynx over in strottenhoofd en de oropharynx in de slokdarm. De keelholte staat met het linker en rechter middenoor in verbinding via twee buisjes, de *buis van Eustachius*. De keel is de plaats waar de luchtweg het spijsverteringskanaal kruist. Figuur 3.1 toont de doorsnede van de kop van een hond, waarop je precies kunt zien hoe de verschillende onderdelen zijn gesitueerd.

Vanuit de keel komt de lucht in het strottenhoofd (*larynx*, *glottis*), dat bestaat uit kraakbeenringen. De verschillende kraakbeenringen zijn door bindweefsel en spierweefsel met elkaar verbonden. De spieren zijn klein, maar er zijn er wel veel. De binnenkant van de larynx is bedekt met slijmvlies, de buitenkant is bedekt met bindweefsel dat overgaat in het onderhuids bindweefsel. Het eerste stukje kraakbeen in het strottenhoofd heet het *strottenklepje* (*epiglottis*), dat van groot belang is bij het slikken. De kraakbeenringen zijn aan de binnenkant net als de neus en de keel bedekt met slijmvlies.

Er lopen verschillende (kop)zenuwen naar het strottenhoofd. Ze bedienen de talrijke spieren, die ervoor zorgen dat de *stembanden* kunnen bewegen. De twee stembanden

zijn slijmvliesplooien in het voorste deel van het strottenhoofd. Door ze al of niet op spanning te brengen, kan het dier blaffen of miauwen. Het openen en sluiten van de stembanden gebeurt door een zeer complexe samenwerking van de spieren van het strottenhoofd. Als deze spieren niet goed samenwerken, bijvoorbeeld door verlamming van een bepaalde zenuw, blijven de stembanden in gesloten stand. Het dier kan dan snel stikken.

Als de stembanden gesloten zijn, kan er niets meer de longen in. Dit is vooral nuttig als het dier zich verslikt. Doordat de stembanden zich dan reflectorisch sluiten, komt er niets in de longen terecht. Door de stembanden te sluiten, kan er ook geen lucht uit de longen komen. Hierdoor wordt hoesten mogelijk.

hoesten *Hoesten is een reflex, die begint met een prikkeling van zintuigcellen in het slijmvlies van de keelholte en de luchtpijp. De zintuigcellen geven hun signalen door aan het verlengde merg, waar een groepje zenuwcellen ligt dat zich speciaal bezighoudt met de hoestreflex. Dit groepje cellen geeft vervolgens de prikkel tot hoesten door via de nervus vagus. Om te kunnen hoesten bouwt het dier druk op in de longen. Dat gebeurt door te proberen om uit te ademen met gesloten stembanden. Als dan de stembanden plotseling opengezet worden, ontsnapt de uitademingslucht met geweld. Dat noem je hoesten.*

Doordat de lucht zo snel ontsnapt, worden allerlei ongerechtigheden en slijm met kracht verwijderd uit de luchtwegen. Het komt in de mond en wordt vervolgens ingeslikt en in de maag onschadelijk gemaakt. Soms blijft er echter heel taai slijm in de keel plakken. Het dier probeert dat te verwijderen door bewegingen die erg lijken op een braakbeweging, maar er wordt niets opgegeven. Als dierenartsassistent(e) moet je goed op loze braakneigingen te letten tijdens de (telefonische) anamnese, want ze kunnen de eerste voorboden zijn van ernstige keel-, long- en maagafwijkingen.

niesreflex *De niesreflex is vergelijkbaar met die van het hoesten. De zintuigcellen liggen in de neus en de reflex wordt ook gecoördineerd in het verlengde merg. Het verschil met hoesten is dat de reflex via de nervus trigeminus verloopt en het dier de lucht niet via de mond maar via de neus laat ontsnappen.*

3.2 Luchtpijp, bronchiën en longen

Nadat de ingeademde lucht de neus, de keelholte en het strottenhoofd is gepasseerd, komt hij in de luchtpijp, bronchiën en longen terecht. Over die onderdelen gaat deze paragraaf.

Luchtpijp

Zoals je in figuur 3.1 ziet, volgt de *luchtpijp* of *trachea* op het strottenhoofd. De trachea bestaat net als de larynx uit slijmvlies aan de binnenkant, kraakbeenringen en aan de buitenkant een laagje bindweefsel. Bij de hond en de kat heeft de trachea 40 kraakbeenringen. De ringen zijn aan de dorsale kant niet gesloten. Het zijn dus eigenlijk geen echte ringen, maar U-vormen. De uiteinden van de 'U' zijn met elkaar

verbonden door een spier. De kraakbeenringen van de luchtpijp zijn stevig met elkaar verbonden.

De luchtpijp loopt van het strottenhoofd af via de hals naar de borstholte toe, vrij dicht langs de halswervels. Het enige wat er tussen luchtpijp en halswervels loopt is de slokdarm. Naast en iets boven de luchtpijp bevinden zich de halsslagaders en halsaders en een grote zenuw, de *nervus vagus*. Als de trachea in de borstholte gekomen is, beschouw je de buitenste laag als sereus vlies, dat overgaat in het mediastinum.

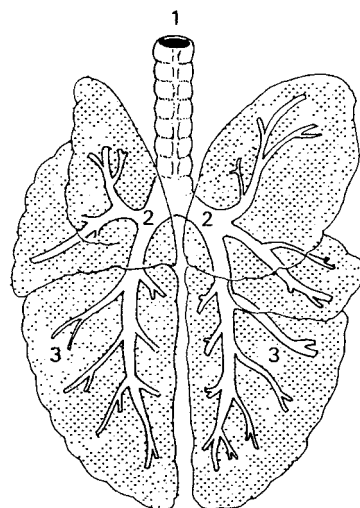
Bronchiën en longen

De luchtpijp vertakt zich ter hoogte van de craniale kant van het hart in tweeën in de bronchiën, die eindigen in de longblaasjes. Daar vindt de gaswisseling plaats. Dat is de aanvoer van zuurstof uit de buitenlucht en de afvoer van kooldioxide uit het lichaam.

Bronchiën

De plaats waar de luchtpijp vertakt heet de *bifurcatie*. De beide aftakkingen noem je de *hoofdbronchiën*. Deze voeren de lucht naar de beide longen. In figuur 3.2 is deze aftakking goed te zien. De luchtpijp en de hoofdbronchiën zijn, net als het strottenhoofd, van binnen bekleed met slijmvlies. De bronchiën zijn dus aftakkingen van de luchtpijp en hebben een wand die vergelijkbaar is met de wand van de trachea. De vertakking van de bronchiën lijkt veel op het bloedvatstelsel: een hoofdbronchus vertakt zich als een boom steeds verder, waarbij de aftakkingen steeds dunner worden. Het slijmvlies van de kleinere bronchiën, de bronchioli genoemd, is voorzien van trilhaarcellen.

Fig. 3.2
De longen van een hond



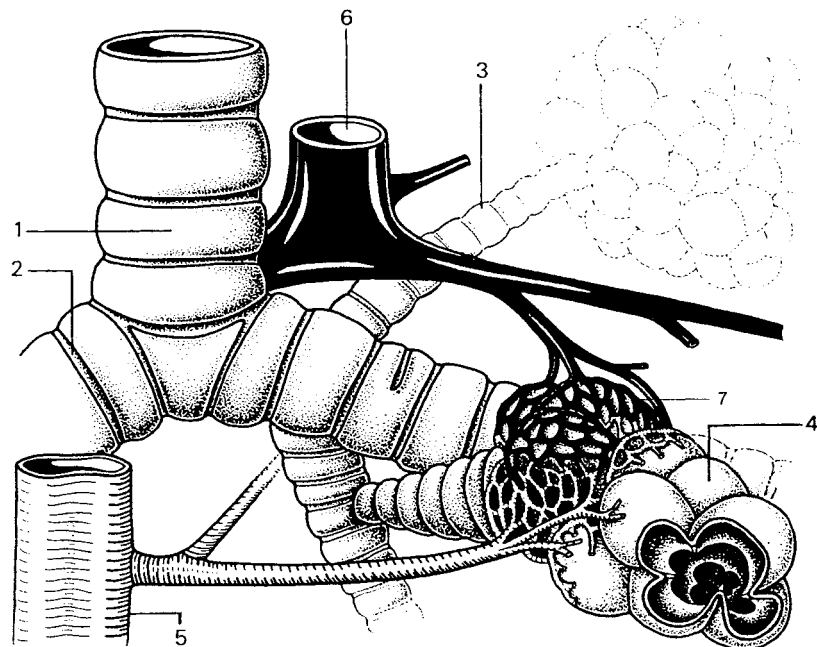
- 1. de luchtpijp (trachea)
- 2. de hoofdbronchiën
- 3. vertakkingen van de hoofdbronchiën

In de wand van de bronchiën is glad spierweefsel aanwezig. Als deze spieren samentrekken, wordt de doorsnede van de bronchiën kleiner en kan het dier dus

moeilijker ademen. Dit spierweefsel reageert op prikkeling door signaalstoffen die onder meer uit de mastcellen komen. Bij de mens is vooral histamine van belang, bij honden en katten spelen de andere signaalstoffen van de mastcellen een grotere rol.

De wand van de bronchiën wordt, naarmate de vertakking vordert, ook steeds dunner. De kraakbeenringen verdwijnen geleidelijk. Ten slotte bestaan de bronchiën alleen nog maar uit een laagje platte slijmvliescellen, gesteund door bindweefsel. Je noemt dit bindweefsel het *interstitiële weefsel*. In dit bindweefsel, dat ook de alveoli steunt, bevinden zich talrijke macrofagen. Dat is ook wel nodig, want door het ademen kunnen ongerechtigdheden zoals micro-organismen en stofdeeltjes diep de kwetsbare longen ingezogen worden. Het afweerstelsel moet deze zo snel mogelijk onschadelijk maken. Hoe effectief dat gebeurt blijkt uit het volgende. Als je de longen van een boerderijkat na zijn dood bekijkt, zie je een mooi roze geheel. De longen van een stadskat zijn roze met zwarte spikkels. Onder de microscoop zie je macrofagen die helemaal gevuld zijn met zwarte roetdeeltjes. De bronchiën eindigen in de *longblaasjes*, die in het Latijn ook wel *alveoli* worden genoemd.

Fig. 3.3
Een schematisch
overzicht van de
onderdelen van een long



1. luchtpijp
2. hoofdbronchus
3. verder vertakkingen
4. alveoli (longblaasjes)
- 5./6. bloedvaten, aderlijke en slagaderlijke bloedvaten
7. haarvaten

De longblaasjes bestaan uit één heel plat laagje epitheelcellen met hun basaalmembraan. Tussen de longblaasjes en het bloed vindt de gaswisseling plaats. Zoals je in figuur 3.3 kunt zien, loopt er om ieder longblaasje een dicht netwerk van haarvaten. Er is dus een intensief contact tussen het bloedvatensysteem en de longen. Dit is nodig voor een efficiënte gaswisseling, een proces dat hierna verder wordt besproken.

Gaswisseling

verbranding

De cellen van het lichaam hebben een intensieve stofwisseling. De energie daarvoor komt uit de *verbranding* van voornamelijk glucose en vetten. Om iets te kunnen verbranden is zuurstof nodig. Bij de verbranding komt onder andere kooldioxide als afvalstof vrij. Voor een goed functioneren en zelfs voor het in leven blijven van de cellen van het lichaam, is dan ook een voortdurende toevoer van zuurstof nodig en een voortdurende afvoer van kooldioxide. Daarvoor zorgen het ademhalingsapparaat en het circulatieapparaat.

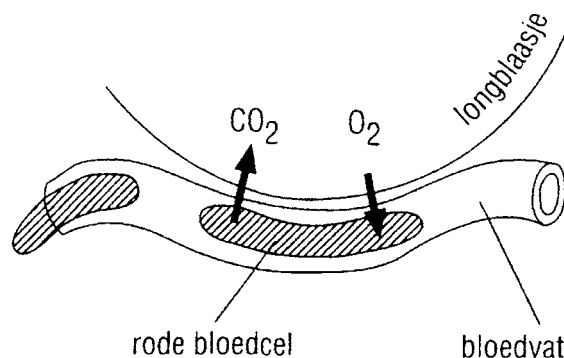
diffusie

In de longblaasjes is na inademing verse lucht met veel zuurstof aanwezig. De zuurstof uit de longblaasjes gaat via *diffusie* naar het hemoglobine in de erythrocyten. Dat kan heel makkelijk omdat de afstand maar heel klein is. Bovendien liggen er tussen de lucht in de alveoli en de erythrocyten slechts de epitheelcellen met hun basaalmembraan, een uiterst dun laagje tussencelstof, de basaalmembraan en de endotheelcellen en nauwelijks bloedplasma. De capillairen zijn namelijk zo nauw dat de erythrocyten zich dubbel moeten vouwen om erdoorheen te kunnen. De rode bloedcellen schuren tegen de wand van de capillairen aan.

Via de capillairen, venolae, venen, hart, arteriën, arteriolae en opnieuw capillairen gaan de rode bloedcellen naar de weefsels toe. Daar aangekomen gaat de zuurstof, ook weer door diffusie, door de dunne wand van de haarvaten heen naar de weefsels. Het kooldioxide dat door de verbranding in de weefselcellen ontstaat, gaat weer naar de rode bloedkleurstof in de rode bloedcellen. De rode bloedcellen brengen het naar de longen. Via diffusie gaat het kooldioxide dan naar de longblaasjes. Bij de uitademing verdwijnt het kooldioxide naar buiten. Het hele proces begint weer opnieuw bij de volgende inademing. Het uitwisselingsproces tussen longblaasje en bloedvat is schematisch weergegeven in figuur 3.4.

Fig. 3.4

Het uitwisselingsproces
tussen longblaasje en
bloedvat



Het diffunderen van kooldioxide en zuurstof in de longen noem je gaswisseling, omdat kooldioxide en zuurstof gassen zijn. Als een dier of een mens sneller gaat ademen, verloopt de gaswisseling natuurlijk ook sneller. Bij een diepere inademing verloopt de gaswisseling beter.

ademcentrum

Het tempo en de diepte van de ademhaling worden geregeld door een groepje zenuwcellen in het verlengde merg. Dit noem je het *ademcentrum*. De cellen meten voortdurend de hoeveelheid kooldioxide in het bloed. Als deze stijgt, bijvoorbeeld doordat een dier hard gaat lopen en de spieren veel kooldioxide maken, geeft dit groepje cellen het bevel tot snelle en diepe ademhaling. Als het dier na het hardlopen

uitrust, daalt de stofwisseling in de spieren. Daardoor daalt ook de kooldioxideproductie, zodat het kooldioxidegehalte in het bloed daalt. Het ademcentrum beveelt dan de ademhaling wat rustiger en minder diep te laten verlopen.

Longvliezen

De longen worden gevormd door de bronchiën, de longblaasjes en het interstitiële bindweefsel met daarin bloedvaten, zenuwen en leucocyten. Het bindweefsel bevat ook veel elastische vezels. Om de longen heen ligt een sereus vlies, het *longvlies*, ook wel *pleura* genoemd. De hond en de kat hebben twee longen. De lucht stroomt via een hoofdbronchus naar en van de long. Iedere long bestaat uit een aantal lobben die ieder van lucht voorzien worden via een aftakking van de hoofdbronchus.

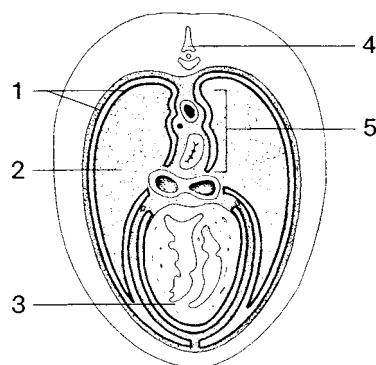
Het vlies dat de longen direct omhult en ermee vergroeid is, noem je de *pleura visceralis*. De *pleura visceralis* gaat dorsaal over in de binnenbekleding van de borstholte. Deze binnenbekleding heet de *pleura pariëtalis* en is vergroeid met de thoraxwand en het middenrif, op dezelfde manier als bij het hartzakje. Het is dus één vlies, zonder begin of eind.

Ook de functie is dezelfde als van het hartzakje: het zorgt ervoor dat de longen makkelijk in de borstholte kunnen bewegen.

De tweede functie van de pleura is het bevestigen van de longen in de borstkas. In figuur 3.5 kun je zien dat hart en longen los in de thorax hangen, opgehangen aan een strook van pleura. De borstholte wordt in de lengte in tweeën gedeeld door het *mediastinum*. Het mediastinum wordt gevormd door de pleurae en is de ophangband voor de slokdarm, de luchtpijp, de aortaboog met zijn vertakkingen, de grote venen, de ductus thoracicus, de thymus en talrijke lymfeknopen. Ook het hartzakje is erin opgehangen.

Tussen de verschillende bladen van de pleurae bevindt zich een heel kleine ruimte die gevuld is met smeervloeistof. Deze ruimte heet de *pleuraholte* ofwel *pleurale spleet*. De vloeistof in de pleuraholte vergemakkelijkt het bewegen van de longen en het hart.

Fig. 3.5
Doorsnede van het
lichaam van een hond



- 1. longvliezen
- 2. longen
- 3. hart
- 4. borstwervel
- 5. bloedvaten en slokdarm

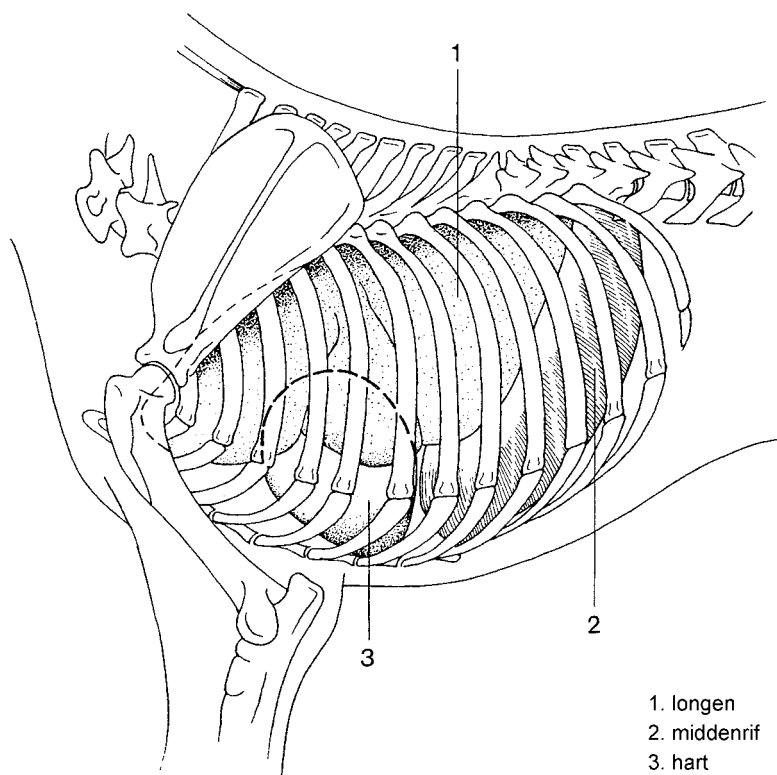
3.3 Ademhaling

Tot dusver heb je geleerd wat de verschillende onderdelen van het ademhalingsapparaat zijn en wat hun functie is. Nu ga je bekijken hoe de luchtstroom door het ademhalingsapparaat precies tot stand komt. Dit proces noem je de ademhaling. Het transport door het ademhalingsapparaat hoort geluidloos te verlopen. Als de ademhaling geluid maakt, heet dat *stridor*. De aanwezigheid van een stridor kan op ernstige afwijkingen wijzen. Een stridor kan te horen zijn bij de inademing, ook wel *inspiratoire stridor* genoemd, bij de uitademing ofwel *expiratoire stridor*, of bij in- en expiratie.

Ingeademde buitenlucht bevat ongeveer 20% zuurstof en 0,04% kooldioxide. Door de verbranding verbruikt het lichaam zuurstof en produceert het kooldioxide. De uitademingslucht bevat dan ook ongeveer 6% kooldioxide en nog maar 14% zuurstof. De overige 80% is stikstof. Het lichaam doet niets met het stikstof, zodat het percentage in- en uitademingslucht gelijk is.

De ademhaling verloopt door het uitzetten en weer inkrimpen van de borstholte. De borstholte wordt aan de bovenkant begrensd door de wervelkolom met zijn spieren en aan de zijkanten door de ribben en tussenribspieren. De onderkant van de borstholte bestaat uit het borstbeen. De voorkant houdt op bij de hals, terwijl de achterkant bestaat uit het middenrif. Denk daarbij vanuit de hond en niet vanuit de mens, die immers in een heel andere positie staat.

Fig. 3.6
De ligging van hart, long
en middenrif in de
borstkas van een hond



Borstademhaling

De borstholte kan op twee manieren uitzetten. In de eerste plaats door *borstademhaling* (*costale ademhaling*), waarbij de ribben opzij en naar voren getrokken worden door de inademingsspieren. Deze spieren lopen van de ribben naar de wervelkolom, de hals en de voorpoot. De tussenribspieren helpen ook mee bij de inademing. Als de ribben naar voren en opzij bewegen, trekken ze de pleura parietalis, dat met de ribben vergroeid is, met zich mee. De ruimte tussen de twee delen van het longvlies wordt daardoor groter en er ontstaat een grotere onderdruk in de pleuraholte. Het gevolg is dat de pleura visceralis meegetrokken wordt. De longen zijn met dit vlies vergroeid en zetten uit, zodat de druk in de longblaasjes daalt. De druk in de longblaasjes wordt lager dan de luchtdruk. Als het dier nu de stembanden open zet, stroomt er door het drukverschil buitenlucht de longen in. Nu kan de gaswisseling plaatsvinden.

Op een gegeven moment houden de ademhalingsspieren op zich te spannen. De uitgerekte elastische vezels in het bindweefsel van de longen krimpen weer in en de longen nemen hun oorspronkelijke grootte weer aan. Daardoor wordt de lucht uit de longen naar buiten gedrukt. Bovendien trekken de longen de beide longvliezen en de ribben mee, zodat die ook in hun oude positie terugkomen. Overigens helpt de zwaartekracht ook mee de ribben op hun oude plaats te trekken. De zwaartekracht drukt de thorax in elkaar, waardoor de ruimte in de borstholte kleiner wordt en de longen samendrukken.

Buikademhaling

Bij de tweede manier van ademen wordt de borstholte vergroot en verkleind door het middenrif, oftewel het diafragma, en de buikspieren. Dit type ademhaling heet *buikademhaling* ofwel *abdominale ademhaling*. De buikademhaling begint als de spieren waaruit het middenrif bestaat, samentrekken. Het middenrif wordt platter en duwt de buikinhoud naar achteren en trekt de pleura parietalis, dat er mee vergroeid is, met zich mee. Hierdoor ontstaat, net als bij de borstademhaling, onderdruk en worden de longen en het vlies dat eromheen ligt uitgerekt, zodat inademing plaatsvindt.

De uitademing verloopt als volgt. Het middenrif houdt op zich te spannen. Door de zwaartekracht en door samentrekken van de buikspieren wordt de buikinhoud op zijn oude plaats gebracht. Deze twee zijn dus de antagonisten van het diafragma. De buikinhoud drukt het middenrif weer naar voren en verkleint de borstholte, wat de lucht uit de longen drukt. De elastische vezels van de longen helpen hier natuurlijk ook aan mee.

Borst-buikademhaling

Honden en katten ademen meestal niet alleen met hun buik of alleen met hun borst, maar met allebei tegelijk. Je noemt dit het *costo-abdominale type*. Het meest komt het gemengde type voor, waarbij de borstholte wordt vergroot en verkleind door middel van het bewegen van de ribben én het middenrif en de buikspieren. Dit gemengde type ademhaling is goed te observeren. Neem daarvoor een grote hond,

zet hem op een vloer met contrasterende kleur, ga achter het dier staan en let op borst en buik. Je kunt nu zowel de borstkas als de flanken zien bewegen.

Afwijkende ademhaling

Voor een dierenartsassistent(e) is het natuurlijk van het grootste belang om te kunnen constateren of een ademhaling afwijkt en vervolgens te weten wat die afwijking betekent. Als een hond of kat alleen met de borstkas ademt, is dit een signaal dat er in de buikholte een pijnlijk proces gaande is. Bij het bewegen van de ingewanden tijdens een buikvliesontsteking zal de buikademhaling pijnlijk zijn. Het dier stopt dan met de buikademhaling en gaat over op uitsluitend borstademhaling. Voor het bewegen van een pijnlijke borstkas zie je dat het dier een zelfde oplossing kiest. Als een hond of kat een gebroken rib heeft, zal het automatisch overgaan op buikademhaling.

Benauwdheid

Als een dier het benauwd heeft, bijvoorbeeld door een heftige longontsteking, zal hij gaan zitten. De buikorganen zijn dan gemakkelijker door het middenrif te verplaatsen en het ademen wordt wat minder zwaar. Sommige dieren houden om dezelfde reden de voorpoten van het lichaam af. De voorste ribben kunnen dan gemakkelijker bewegen en ook met de borstademhaling meedoen.

De uitademing is een passieve beweging. De elasticiteit van longen en spieren en de zwaartekracht zorgen ervoor dat de longen zich weer verkleinen. Als de ademhaling wordt bemoeilijkt, moet het dier de longen echter actief leegdrukken door de buik- en de tussenribspieren actief te gebruiken. Dit veroorzaakt grote drukverschillen in de buikholte, waardoor soms ook in de bekkenholte drukverschillen ontstaan. Deze drukverschillen kunnen zelfs zo groot zijn dat je de anus gelijk met de ademhaling ziet bewegen.

Als de buikspieren lang en blijvend extra hard moeten werken aan het uitademen, worden ze steeds sterker en dikker. Dit is vaak te voelen en soms te zien aan richels tussen de verschillende buikspieren. Bij dampige paarden, dat zijn paarden met een chronische ziekte waarbij de longen niet meer elastisch zijn, is dit heel goed te zien.

ademritme Bij benauwdheid gaat het *ademritme* vaak omhoog en ook gaat het dier soms dieper ademen. Toch is een te snelle ademhaling niet altijd een teken van benauwdheid door zuurstoftekort. Zoals je hebt geleerd kan een hond of kat via de ademhaling ook een teveel aan warmte afgeven. Hoe sneller het dier ademt, des te beter koelt het af. Ook bij opwinding zal een dier snel ademen. De snelle en meestal oppervlakkige ademhaling wordt in deze gevallen vaak onderbroken door enkele heel diepe inademingen. Het beoordelen van de ademsnelheid moet dan ook gebeuren als het dier in rust is.

Slijmvliezen

Of de ademhaling normaal functioneert, is behalve aan de ademsnelheid soms ook af te lezen aan de slijmvliezen. De slijmvliezen zijn normaal lichtroze, glad en vochtig, vergelijkbaar met de binnenkant van je eigen lippen. Soms zijn de slijmvliezen zo gepigmenteerd dat de roze kleur niet te zien is. Als de ademhaling niet goed functioneert, kunnen de slijmvliezen een paarsblauwe kleur krijgen (*cyanose*). Dat

komt omdat er dan te weinig zuurstof en te veel kooldioxide aan de hemoglobine is gebonden. Daarom is overigens ook het bloed in de meeste slagaders lichtrood: het is zuurstofrijk bloed. Het bloed in de meeste aderen is donkerrood: het is bloed met weinig zuurstof en veel kooldioxide.

Hemoglobine verandert bij ziekte van helderrood via donkerrood in paarsblauw. De longen hebben een behoorlijke reservecapaciteit, dus als de slijmvliezen verkleuren is er al sprake van een ernstig gestoorde uitwisseling van zuurstof en kooldioxide. De kleurverandering naar paarsblauw vindt natuurlijk plaats in het gehele lichaam, maar omdat de slijmvliezen zo dun zijn, kun je daar het bloed goed zien doorschemeren en dus de kleur ervan het beste beoordelen.

Een andere reden voor het blauw kleuren van de slijmvliezen is oververmoeidheid. Blauwe slijmvliezen door oververmoeidheid zie je bijvoorbeeld als een Duitse staande een hele dag voor de jacht is gebruikt. Het is heel normaal dat zo'n hond daarbij 1 kg vet verliest. Dit vet dient als brandstof voor de langdurige jacht. Bij de verbranding van het vet is veel zuurstof nodig en er ontstaan dan ook zeer veel afvalproducten, waaronder kooldioxide. Als een hond heel erg hard werkt, is de ademhaling niet meer voldoende voor het aanvoeren van zuurstof. Dan stijgt de hoeveelheid kooldioxide en alle zuurstof verdwijnt naar de weefsels. Ook dan worden de slijmvliezen blauw. In een dergelijk geval is het nodig de hond meteen te laten rusten. De meeste honden doen dit uit zichzelf, maar er zijn ook honden die blijven doorgaan en zich letterlijk doodwerken.

Ductus botalli

Ongeboren dieren of foeten (spreek uit: feuten) gebruiken hun longen niet om te ademen. Via de placenta nemen ze hun zuurstof op uit het bloed van hun moeder en geven daaraan hun kooldioxide af. De foetale bloedvaten naar de placenta maken deel uit van de grote circulatie. De kleine circulatie hoeft dus niet te werken tijdens het foetale leven. Daarom is er tussen de arteria pulmonalis en de aorta een verbinding en is de arteria pulmonalis afgesloten. De verbinding heet de *ductus botalli*.

Via de ductus botalli loopt het bloed uit de rechterkamer een klein stukje de a. pulmonalis in, gaat dan via de ductus botalli de aorta in en komt zo in de grote circulatie. De ductus botalli snijdt dus een groot deel van de kleine circulatie af. Zo'n kortere weg heet met een Engels woord ook wel *shunt*. Na de geboorte moeten de longen en de kleine circulatie wel aan het werk. De ductus botalli sluit dan en de a. pulmonalis gaat open.

3.4 Afsluiting

In dit hoofdstuk heb je het ademhalingsapparaat bestudeerd. Je moet weten uit welke onderdelen het bestaat en wat de functie van deze onderdelen is. Vooral de gaswisseling is daarbij van belang. Ook de opbouw van de onderdelen van het ademhalingsapparaat zul je in grote lijnen moeten kennen.

Hoe de ademhaling verloopt en welke typen er zijn, is eveneens zeer belangrijk met het oog op je toekomstige beroepsuitoefening. Het type ademhaling levert belangrijke informatie op bij bijvoorbeeld het klinisch onderzoek of tijdens de narcose van een

dier. Besteed hieraan dan ook veel aandacht als je stage loopt bij een dierenarts. Vraag bijvoorbeeld of je eens blauwe slijmvliezen mag zien. Neem ook de tijd om de ademhaling van een hond of kat te observeren tijdens verschillende activiteiten. Let bij het laatste goed op het type ademhaling en het ademritme.

- Vragen 3.1**
- a Waaruit bestaat het ademhalingsapparaat?
 - b Op welke twee manieren wordt het neusslijmvlies bevochtigd?
 - c Wat zijn neusschelpjes?
 - d Waar ligt het reukzintuig?
 - e Wat is de sinus frontalis?
 - f Wat is de nasopharynx?
 - g Wat is het strottenklepje?
 - h Waar kunnen loze braakneigingen op wijzen?
- Vragen 3.2**
- a Waaruit is de luchtpijp opgebouwd?
 - b Wat zijn bronchiën?
 - c Beschrijf de longen van een stadskat.
 - d Hoe heet het proces dat in de longblaasjes plaatsvindt?
 - e Beschrijf het proces dat plaatsvindt in de longblaasjes.
 - f Waaruit bestaan de longen?
 - g Wat is de taak van de longvliezen?
 - h Waardoor wordt de borstholte begrensd?
 - i Wat is het nut van de elastische vezels in het bindweefsel van de longen?
- Vragen 3.3**
- a Welke drie ademtypen zijn er?
 - b Beschrijf de buikademhaling.
 - c Hoe kun je aan het ademritme zien dat een dier het benauwd heeft?
 - d Hoe ziet een normaal slijmvlies eruit?

Trefwoordenlijst

A

a. brachiocefalica 42
a. carotis communis dextra 42
a. carotis communis sinistra 42
a. subclavia sinistra 42
abdominale ademhaling 54
actieve immunisatie 19
ademcentrum 51
aders 36
albuminen 12
alveoli 50
anastomose 36
antigeen 16
antigeen presenterende cellen 19
antigeen-antilichaamcomplex 21
antilichamen 20
antistoffen 20
aorta 39
aortaboog 41
apc's 19
arteria axillaris 41
arteria coronaria dextra 41
arteria coronaria sinistra 41
arteria femoralis 41
arteria lienalis 9
arteria ovarica 41
arteria pulmonalis 39
arteria uterina caudalis 41
arteria uterina medialis 41
arterie 34
atria 27
atrio-ventriculaire kleppen 28
atrioventriculaire knoop 30
atrium dextrum 25
atrium sinistrum 25
av-kleppen 28
av-knoop 30

B

basofiele granulocyten 17
B-cellen 20
biest 23
bifurcatie 49

bloeddruk 33
bloedlichaampjes 9
bloedplasma 10
boezems 25, 27
borstademhaling 54
borst-buikademhaling 54
buikademhaling 54
buikaorta 41
buis van Eustachius 47
bundel van His 30

C

capillairen 34
complement 17
conchae 46
contractie 30
costale ademhaling 54
costo-abdominale type 54
cyanose 55
cytotoxische T-cellen 20

D

diastole 30
diffusie 12, 51
drielippige hartklep 28
ductus botalli 56
ductus thoracicus 37

E

ECG 31
eindarteriën 37
elektrocardiogram 31
endocard 26
endotheel 26
enzymen 16
eosinofiele granulocyten 17
epicard 26
epiglottis 47
erythrocyten 9
expiratoire stridor 53

F

fibrine 14

G

gaswisseling 51
globulinen 12
glottis 47
granulae 17
grote bloedsomloop 40

H

haarvaten 34
haarvatennet 42
halvemaanvormige kleppen 28
hartzakje 26
hemoglobine 11
heparine 15
hijgen 14
histamine 17
hoesten 48
hoofdbronchiën 49
hormonen 12

I

ictus cordis 39
lg 20
immunoglobulinen 20
immuunstelsel 20
inspiratoire stridor 53
interferon 17
interstitiële weefsel 50

K

kamers 25, 27
keelholte 47
kleppen 28
kransslagaders 41

L

larynx 47
leucocyten 9
lien 9
longblaasjes 50
longslagader 39
longvlies 52
luchtpijp 48
lymfe 37
lymfeklieren 37
lymfeknoppen 37
lymfocyt 10

M

mastcellen 15, 16
mediastinum 52
milt 9
mitralisklep 28
monocyt 10
myocard 26

N

nasopharynx 47
nasos 45
nervus olfactorius 46
nervus vagus 31, 49
neusholten 46
neusschelpjes 46
neusspiegel 45
neusvleugels 45
neutrofiële granulocyten 17
niesreflex 48

O

oropharynx 47

P

passieve immunisatie 22
pericard 26
pharynx 47
planum nasale 45
pleura 52
pleura pariëtalis 52
pleura visceralis 52
pleuraholte 52
pleurale spleet 52
pmk's 10, 17
polymorfkernige leucocyten 10, 17
poortader 43
poriën 34
PQ-interval 33
P-top 32

Q

QRS-complex 32

R

ramus dexter 40
ramus sinister 40
remstoffen 21
repolarisatieperiode 30
RES 16
reticulo-endotheliale systeem 16

rhinos 45
rode pulpa 9

S

septum 25
septum nasale 45
sereus vlies 26
serosa 26
serum 10
shunt 56
signaalstoffen 12, 14
sinus frontalis 46
sinusknoop 30
sinussen 9, 46
slagader 34
slagaders 28
splenos 9
stembanden 47
stollingsfactoren 14
stridor 53
strottenklepje 47
systole 30

T

Tc-cellen 20
T-cellen 19
temperatuurcentrum 13
Th-cellen 20
T-helpercellen 20
thorax 38
thymus 19
Tm-cellen 20
traanbuis 46

trachea 48
trilhaarcellen 46
trilhaartjes 46
trombocyten 9
tweelippige hartklep 28

V

valvula bicuspidalis 28
valvula tricuspidalis 28
valvulae semilunares 28
vena cava anterior 43
vena cava posterior 43
vena cephalica 42
vena cordis dextra 41
vena cordis sinistra 41
vena jugularis 42
vena lienalis 9
vena portae 43
vena saphena 42
venae pulmonales 40
venolae 36
ventriculus dexter 25
ventriculus sinister 25
verbranding 12
virulentie 21

W

witte bloedcellen 16
witte pulpa 9

Z

zweten 13

