

Inhoudsopgave

15 Ademhaling	1
15.1 Historie	1
15.2 De luchtwegen	2
15.3 Gaswisseling	11
15.4 Ademhalingsbewegingen.....	13
15.5 Longfunctie	14
15.6 Regulatie van de ademhaling.....	16
15.7 Ademen en gezondheid.....	16
15.8 Ademhaling bij dieren	19

Hoofdstuk 15 Ademhaling

Een baby die ter wereld komt, gaat vrijwel direct huilen. Hierdoor ontvouwen de longen zich en komt de ademhaling op gang. Natuurlijk heeft de baby ook voor de geboorte 'geademd', maar tot dit moment kwam de zuurstof met het bloed via de navelstreng in het lichaam binnen en hoefde hij er zelf niets voor te doen. De foetus oefent wel met de ademhalingsspieren, waarschijnlijk is hikken een vorm van spieroefening van het middenrif. Ongeboren kinderen hebben vaak de hik, baby's ook nog geregeld, en ze hebben er geen last van; op latere leeftijd ervaar je de hik als een hinderlijk verschijnsel.

Net als hikken, hoesten en niezen gebeuren de gewone ademhalingsbewegingen automatisch, ook al kun je er wel invloed op uitoefenen. Je kunt je adem inhouden, of een kriebelhoest onderdrukken, tot een bepaald moment, en dan lukt het niet meer. Het automatisme is sterker dan je wil. Zolang je leeft, blijf je ademen, zonder dat je er bij na hoeft te denken tot je 'de laatste adem uitblaast'.

Dat is bij andere dieren niet altijd zo: een dolfijn moet actief naar boven zwemmen om adem te halen. Een dolfijn moet daarom dan ook half slapen/half waken: één hersenhelft slaapt, terwijl de andere helft wakker blijft om te zorgen dat hij op tijd naar boven zwemt, halverwege de nacht neemt de andere hersenhelft het over. Dit heeft natuurlijk ook het voordeel dat hij met één oog de omgeving in de gaten kan houden.

Lichaamscellen hebben voortdurend zuurstof nodig. De zuurstof wordt voor het grootste deel gebruikt voor de verbranding (**aerobe dissimilatie**). De weefselcellen onttrekken de zuurstof uit het inwendige milieu. Het inwendige milieu krijgt zuurstof van het bloed en het bloed ontvangt zuurstof uit de lucht in de longen. In tegengestelde richting wordt het afvalgas koolstofdioxide uit de cellen, uit het inwendige milieu en uit het bloed gewerkt. Het transport van de gassen gebeurt door diffusie.

Het ademhalingsstelsel is er in de eerste plaats voor de **gaswisseling**. Bovendien speelt dit stelsel een rol bij de **warmteafgifte**, de **uitscheiding van water**, de **communicatie** (spreken, zingen, fluiten) en het **ruiken** en **proeven**.

15.1. Historie

De oude Grieken dachten dat er behalve lucht ook 'pneuma' bestond: een fijne, alles doordringende stof die een activerende organiserende werking had op de materie, een soort **levensstof** dus. Met de ademhaling kreeg je de pneuma binnen en via de longen werd ze met de lucht naar het hart vervoerd, waar het werd omgezet in 'levenspneuma'. De lucht zou vooral dienen om het hart te koelen.

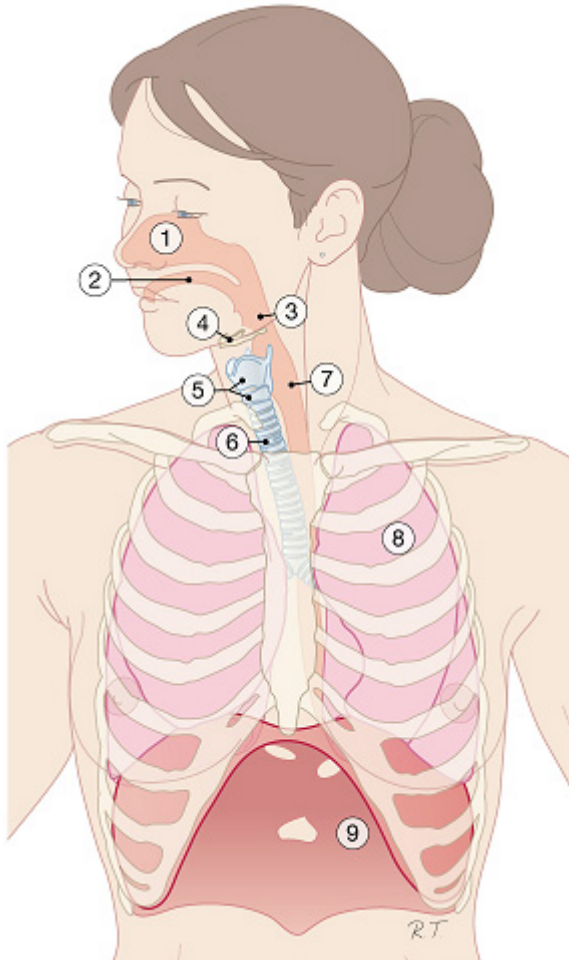
Toen de bloedsomloop beschreven was, bleven de longen nog een tijd lang raadselachtig. **Michael Servetus** (1511-1553), een theoloog en tijdgenoot van Vesalius, meende dat lucht zich in de longen met bloed mengde, waarna het bloed lichter werd en naar het hart kon stromen. Hij constateerde dat de longslagader naar verhouding veel te dik was om alleen de longen van voedsel te voorzien. Op zoek naar de manier waarop de ziel in ons lichaam komt, kwam hij als eerste tot een juist inzicht in de functie van de longen: zuurstof aan het bloed afgeven.

In de loop van de 17^{de} eeuw werd de pompwerking van het hart ontdekt, waarna er voor de longen een andere functie dan die van koelinstallatie moest worden gezocht. In 1661 ontdekte Malpighi de longcapillairen, terwijl Robert Hooke in dezelfde tijd begon te vermoeden dat er in de longen iets uit de lucht wordt gehaald, omdat bloed dat de longen verlaat er anders uitziet dan bloed dat de longen binnenkomt.

15.2. De luchtwegen

De luchtwegen vormen de verbindingsweg tussen de buitenlucht en het longweefsel. Via de luchtwegen kan zuurstof naar de longen getransporteerd worden en koolstofdioxide naar de buitenlucht.

Figuur 1. De luchtwegen.



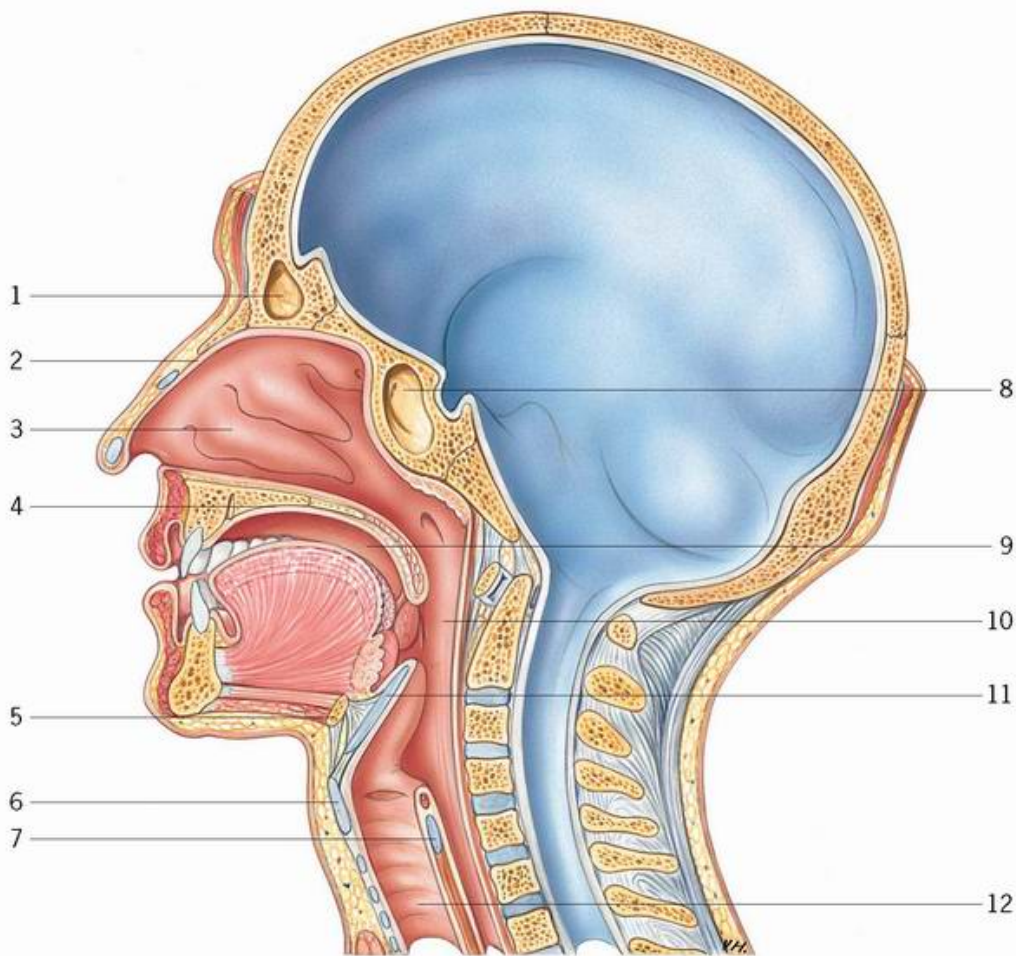
- 1 = neusholte
- 2 = mondholte
- 3 = keelholte
- 4 = tongbeen
- 5 = strottenhoofd
- 6 = luchtpijp
- 7 = slokdarm
- 8 = linkerlong
- 9 = middenrif

15.2.1. Neusholte

Geen twee neuzen zijn hetzelfde. Door de vorm van het neuskraakbeen en de bedekkende huid is je neus een karakteristiek onderdeel van je gezicht. Het grootste deel van dit orgaan is opgebouwd uit elastisch kraakbeen. Hierdoor is je neus goed beweegbaar, maar blijft de vorm gehandhaafd.

De neus heeft van binnen neusharen en vormt de toegang tot de neusholte. Deze is veel groter dan de neus van buiten doet vermoeden. De **neusholte** is bekleed met **neusslijmvlies**; het buitenste laagje hiervan bestaat uit **trilhaarepitheel**. Dit is een laag dekweefselcellen die aan één kant bedekt is met trilhaarcellen, waartussen zich veel slijmvormende klieren bevinden.

Hoofdstuk 15 Ademhaling

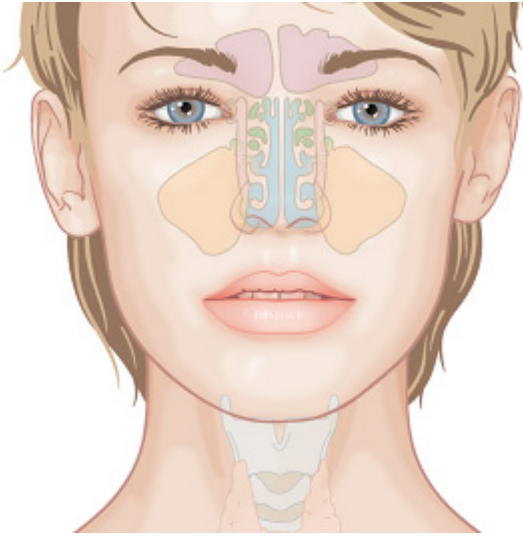


Figuur 2. Lengtedoorsnede van het hoofd.

1 = voorhoofdsholte; 2 = neuskraakbeen; 3 = neusschelp; 4 = harde gehemelte; 5 = tongbeen;
6 = schildkraakbeen; 7 = ringkraakbeen; 8 = neusbijholte; 9 = mondholte; 10 = keelholte;
11 = strotklepje; 12 = luchtpijp

De neusholte wordt in twee delen verdeeld door het neustussenschot. Aan beide kanten heeft de wand van de neusholte drie uitstekende plooien, de **neusschelpen**. De door de neus ingeademde lucht wervelt langs de neusschelpen, die het oppervlak van de neusholte aanzienlijk vergroten. Boven in de neusholte bevindt zich het reukzintuig, een stukje slijmvlies van 2 à 3 cm², waarin zich de reukzintuigcellen bevinden. Deze staan in verbinding met de hersenen. Het bijbehorende reukcentrum in de hersenschors ligt er vlak boven.

De neusholte staat in verbinding met een aantal holtes in de schedelbeenderen, de **bijholten**. Deze zijn eveneens bekleed met slijmvlies. In de neusholte bevindt zich de **neusamandel**, die bestaat uit lymfoïde weefsel. De neusamandel speelt een rol bij de afweer van het lichaam.



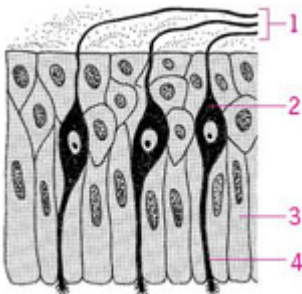
Figuur 3. De neusholten en bijholten

roze: voorhoofdsholten
groen: etmoïd (zeefbeenholte)
blauw: neusholten
geel: kaakholten

15.2.2. Functies van de neusholte

Het is meestal gezonder om door je neus dan door je mond in te ademen. De neusholte heeft namelijk de volgende functies:

1. **Zuivering.** De grotere stofdeeltjes blijven steken in de neusharen. Het neusslijmvlies vangt in het slijm veel kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers op. De trilharen zwiepen vervolgens het merendeel van het vervuilde slijm in de richting van de keelholte. Daar slik je het in; maagzuur vernietigt de eventuele ziekteverwekkers.

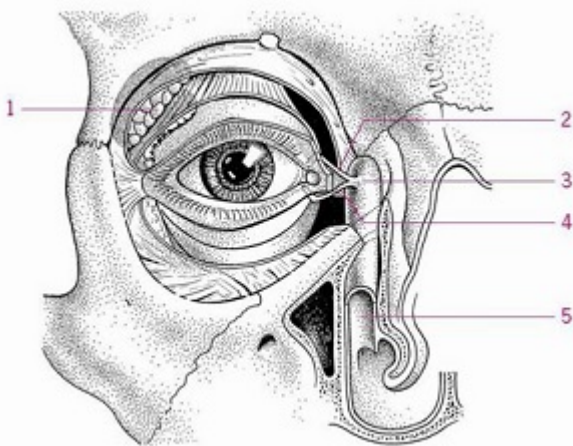


Figuur 4. Detail van het neusslijmvlies

1 = impulsafvoerende uitlopers van de zintuigcellen;
2 = cellichaam van een zintuigcel; 3 = steuncel;
4 = prikkelontvangende uitloper van de zintuigcel

Hoofdstuk 15 Ademhaling

2. **Verwarming.** Ingeademde lucht kan in de neusholte opgewarmd worden. Koude lucht bijvoorbeeld wordt hier tot ongeveer 33°C opgewarmd. Het op temperatuur brengen van de ingeademde lucht voorkomt te sterke afkoeling van het longweefsel. Een lage temperatuur verhindert een goede gaswisseling.
3. **Bevochtiging.** Ingeademde lucht wordt door het neusslijmvlies vochtiger gemaakt. Dit gebeurt ook door verstuivend traanvocht, dat via de traanbuis onder de onderste neusschelp uitmondt. Er wordt voortdurend traanvocht gemaakt om de oogbol nat te houden. Het wordt afgevoerd naar de neusholte. Wanneer je huilt, raken de traanbuisjes al snel overvol en gaan de tranen over je wangen biggelen. Bovendien komt er dan zoveel traanvocht in de neusholte, dat je gaat snotten.
4. **Ruiken.** Ingeademde lucht wordt gekeurd door het reukzintuig. Dit heeft te maken met bescherming: giftige gassen en gevaarlijke dampen ruiken meestal vies, waardoor je gealarmeerd wordt. Wanneer je slecht ruikende lucht inademt, ga je automatisch oppervlakkiger ademen, ook wanneer je de luchtvervuiling niet bewust ruikt.



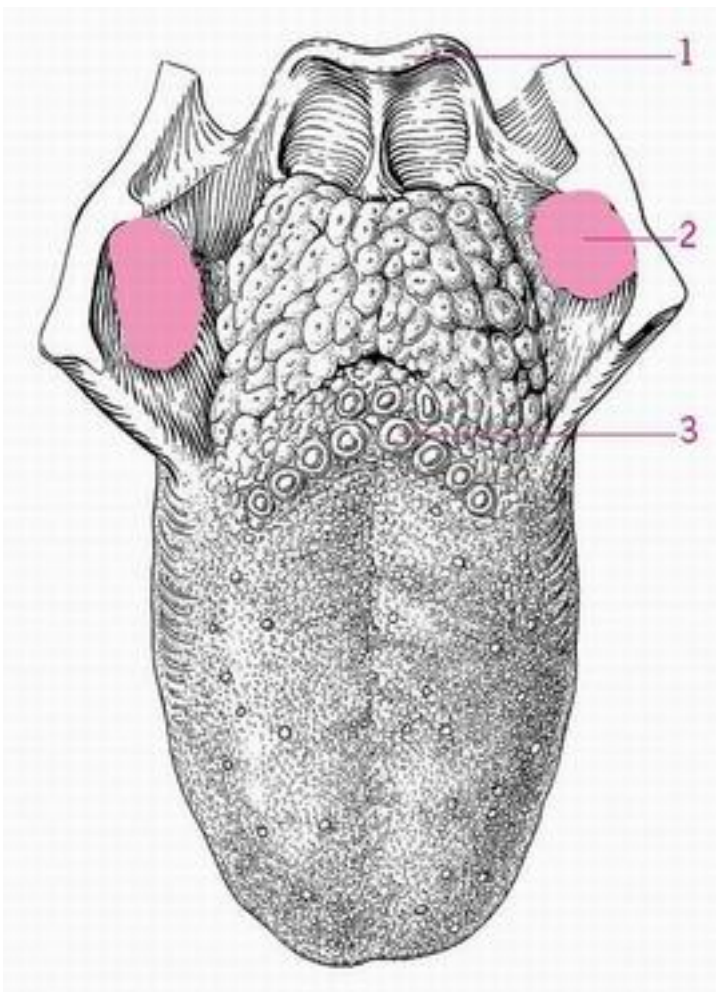
Figuur 5. Het traanapparaat

1 = traanklier; 2 = traankanaaltje van het bovenste ooglid; 3 = traanzakje;
4 = traankanaaltje van het onderste ooglid; 5 = traanbuis, uitkomend in de
onderste neusgang

15.2.3. Mondholte, keelholte en strottenhoofd

In sommige situaties komt **mondademhaling** goed van pas. Wanneer je neus verstopt zit of wanneer je moet hoesten, hijgen of diep moet inademen (zoals bij blazen, onder water zwemmen), is het prettig dat je ook nog een mond hebt om door te ademen.

Bovendien speelt de mond een belangrijke rol bij het **spreken**. De mondholte fungeert dan als een vervormbare klankkast, waarmee de klinkers gevormd worden. Lippen en tong maken de medeklinkers.



Figuur 6. Bovenaanzicht van de tong

1 = strotklepje

2 = linker keelamandel

3 = smaakpapil

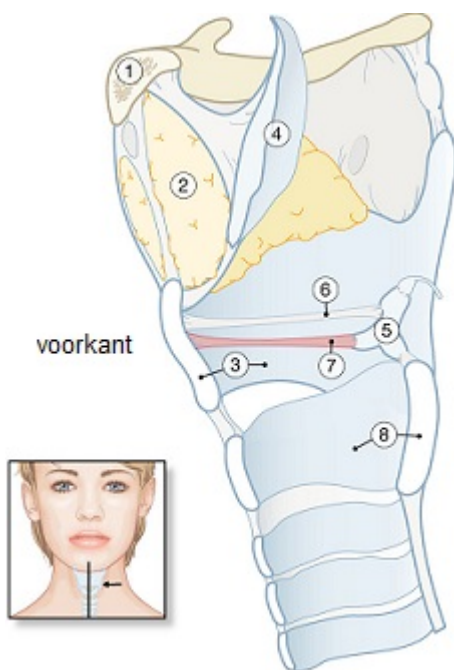
De keelholte ligt achter de neus- en mondholte en is zowel onderdeel van de luchtwegen als van het spijsverteringskanaal. In de keelholte bevinden zich de **huig** en het **strotklepje**. In het hoofdstuk 'Voeding en vertering' wordt de functie van beide delen behandeld.

Hoofdstuk 15 Ademhaling

Links en rechts in de keelwand bevinden zich de keelamandelen. Ze liggen aan de tongbasis. Net als de neusamandel zijn de keelamandelen ophopingen van lymfoïde weefsel en spelen ze een rol bij de afweer. Wanneer je verkouden bent, zijn ze meestal gezwollen; je kunt ze dan goed zien.

Het **strottenhoofd** ligt tussen de keelholte en de luchtpijp in. Het bestaat uit een aantal kraakbeenstukken, waarvan het schildkraakbeen aan de voorkant het grootste is. De bovenrand van het **schildkraakbeen** is van buiten te voelen, vooral wanneer je slikt; dit is de adamsappel. In het strottenhoofd zitten je stembanden. Dit zijn stevige bindweefselvliezen die in trilling komen wanneer er lucht langs stroomt. De opening tussen de **stembanden** heet de stemspleet. Spieren van het strottenhoofd kunnen de stembanden laten bewegen, waardoor de stemspleet (en daarmee de luchtpijp) geheel of gedeeltelijk afgesloten wordt. Bij de breedste stand van de **stemspleet** worden de stembanden niet in trilling gebracht. Dit gebeurt bij gewone ademhaling. Wordt de stemspleet nauwer, dan kan de passerende luchtstroom de stembanden in trilling brengen en ontstaat er stemgeluid.

Stemgeluid is heel karakteristiek voor een persoon. De eigenschappen van je stem hangen van vele factoren af: zoals de vorm van de stembanden, de vorm van de klankkast (mond- en neusholte) en de spieractiviteit van het strottenhoofd. De mens is in staat zeer veel verschillende klanken te produceren, veelal door subtiele vormveranderingen van strottenhoofd, keel- en mondholte.



Figuur 7. Het strottenhoofd van binnen (lengtedoorsnede)

- 1 = tongbeen
- 2 = vetweefsel
- 3 = schildkraakbeen
- 4 = strotklepje
- 5 = kraakbeentjes die de stembanden doen bewegen
- 6 = valse stemband
- 7 = ware stemband
- 8 = onderste kraakbeenring van het strottenhoofd

15.2.4. Waardoor kunnen mensen praten en dieren niet?

Terwijl apen en vooral mensapen lichamelijk erg veel op ons lijken, en volgens recente onderzoeken voor het grootste deel hetzelfde DNA-patroon bezitten, kunnen ze niet praten. Hun keelholte en strottenhoofd zijn anders gebouwd en ze missen de fijne musculatuur (spiervoorziening) om de subtiele bewegingen te maken die bij het spreken horen. Ze missen bovendien de gespecialiseerde centra in de hersenen die de mens wel heeft. Er zijn chimpansees die wel hebben geleerd te communiceren met de gebarentaal die dove mensen gebruiken, maar ze komen dan niet verder dan zo'n 130 woorden. Bij deze dieren is een eenvoudige versie van taal dus mogelijk. Bij de meeste andere diersoorten is die waarschijnlijk geheel afwezig.

Dieren kunnen wel onderling communiceren - denk aan de 'bijentaal'-, maar het gaat daarbij om een beperkt repertoire van tekens. Wat de mensentaal uniek maakt, is de mogelijkheid om een vrijwel oneindig aantal combinaties van woorden te gebruiken. Niemand weet precies wanneer onze voorouders voor het eerst echt konden spreken. Waarschijnlijk gebeurde dat al erg lang geleden, want alle nu bestaande talen zijn hoog ontwikkeld, 'primitieve talen' bestaan niet.

Terence Deacon, een neuroloog die zich met taalontwikkeling bezig houdt, denkt dat de menselijke taal al twee miljoen jaar geleden ontstond, en dat juist die taal daarna een grote rol heeft gespeeld in de evolutie van de mens. In schedels uit die tijd (dus voordat de *Homo sapiens* bestond) zijn in de afdrukken van de hersenen vormen te vinden die wijzen op de aanwezigheid van taalcentra.

Andere wetenschappers denken dat taal later ontstond, maar zeker eerder dan 40.000 jaar geleden. De scheppers van de beroemde fraaie rotstekeningen moeten al een cultuur en dus een taal hebben gehad, en de eerste bewoners van Australië arriveerden daar rond 40.000 jaar geleden over zee. Om bruikbare boten te kunnen bouwen en zeereizen te ondernemen, moeten zij ook met elkaar hebben kunnen praten. Het vermogen van jonge kinderen om een taal te leren, lijkt erg op een proces van inprenting. Een baby maakt allerlei geluidjes, maar selecteert al heel vroeg de klanken die hij om zich heen hoort en laat andere klanken vallen. Vervolgens leert een kind de moedertaal in zeer korte tijd, veel eerder en veel sneller dat het later bijvoorbeeld sommen leert maken - terwijl een taal toch heel wat ingewikkelder is. Het lijkt er op dat mensen worden geboren met een aangeboren basisgrammatica (volgens Chomsky), ook al zijn de 4000 talen die op onze planeet gesproken worden allemaal anders.

15.2.5. Luchtpijp en longen

De **luchtpijp** sluit aan op het kraakbeen van het strottenhoofd. Boven het hart splitst de luchtpijp in twee **hoofdbronchiën** (enkelvoud: hoofdbronchus), een naar de linker- en een naar de rechterlong. Luchtpijp en hoofdbronchiën zijn stevige buizen van bindweefsel waarin op regelmatige afstanden kraakbeenstukken zitten. Ze hebben een hoefijzervorm met de opening aan de achterkant, daar waar de slokdarm tegen de luchtpijp ligt. De kraakbeenstukken verhinderen het dichtklappen van de luchtpijp en hoofdbronchiën bij inademing.

Hoofdstuk 15 Ademhaling

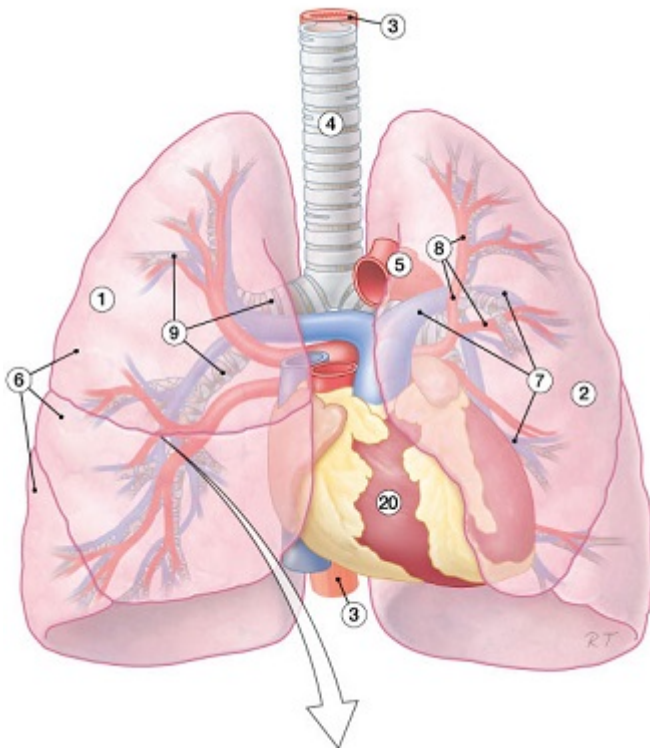
De binnenkant van de luchtpijp en hoofdbronchiën is bekleed met slijmvlies met trilhaarepitheel, dat ertoe bijdraagt dat stofdeeltjes en ziektekiemen tegengehouden worden. Ze worden door de trilharen in de richting van de keel getransporteerd, geholpen door hoesten of kuchen en vervolgens ingeslikt. Dat het trilhaarepitheel hier bijzonder gevoelig is, heb je vast wel eens ervaren: beschuitkrumels, scherpe kruiden en dergelijke kunnen hevige hoestbuien opwekken.

Een hoofdbronchus vertakt in **bronchiën**. Elke bronchus wordt omgeven door een longkwab, die bestaat uit longweefsel. De linkerlong heeft twee longkwabben, de rechterlong heeft er drie (dit hangt samen met de positie van het hart). Binnen een **longkwab** vertakken de bronchiën zich verder tot zeer nauwe buisjes, de **bronchiolen**. Bronchiën en bronchiolen zijn bekleed met trilhaarepitheel. Naarmate de vertakkingen fijner worden, verandert de vorm van de kraakbeenstukken in de wand: in de grotere bronchiën zijn ze nog ringvormig, verderop worden het onregelmatige stukjes en vlak voor de bronchiolen zijn het nog schilfers. In de bronchiolen ontbreken ze. Hiervoor in de plaats zit er glad spierweefsel. Door de spieren samen te trekken of te ontspannen, is de hoeveelheid lucht, die per ademhaling in- of uitgeademd wordt, te beïnvloeden.

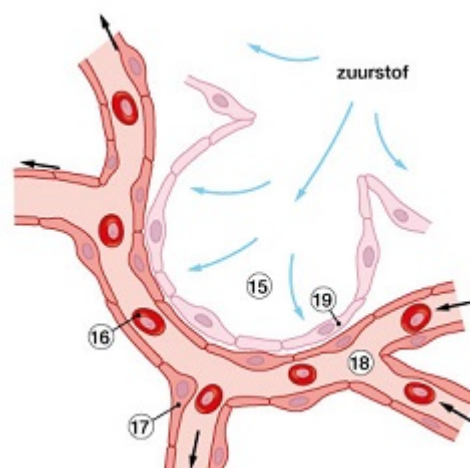
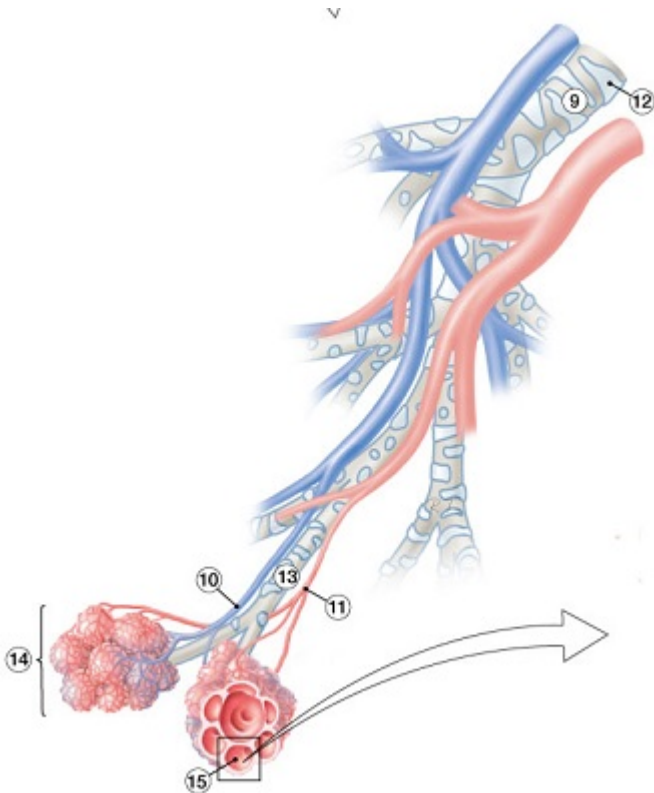
Elke bronchiole vertakt in meerdere ballonachtige structuurtjes, de longtrechttertjes. De wand van elk longtrechttertje heeft ook weer vele blaasvormige uitstulpingen. Dit zijn de longblaasjes ofwel alveoli. Hier vindt de uitwisseling van gassen met het bloed plaats. De longblaasjes hebben een uiterst dunne wand, die bestaat uit slechts één laag cellen. De longblaasjes geven aan de longtrechter het uiterlijk van een druiventrosje.

De longen bevatten ongeveer 900 miljoen longblaasjes. Het gezamenlijk oppervlak wordt geschat op 90 m². Rondom de longblaasjes ligt een dicht netwerk van haarvaten. Het eigenlijke longweefsel wordt gevormd door de longtrechttertjes met de longblaasjes en de haarvaten. Bekijk ook de animatie op Bioplek (klik hier voor iPad of tablet).

Figuur 8. De longen



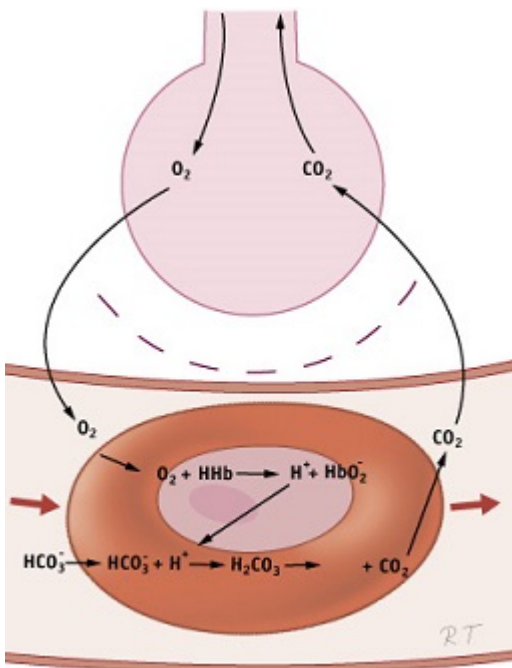
- 1 = rechterlong
- 2 = linkerlong
- 3 = slokdarm (ligt achter de luchtpijp)
- 4 = luchtpijp
- 5 = aorta
- 6 = de 3 longkwabben van de rechterlong
- 7 = longaders
- 8 = longslagaders
- 9 = bronchiën
- 10 = arteriole
- 11 = venule
- 12 = kraakbeenstukje
- 13 = bronchiolen
- 14 = longtrechtertje
- 15 = longblaasje (alveolus)
- 16 = rode bloedcel
- 17 = wand van het haarvat (capillair)
- 18 = haarvat
- 19 = wand van het longblaasje
- 20 = hart



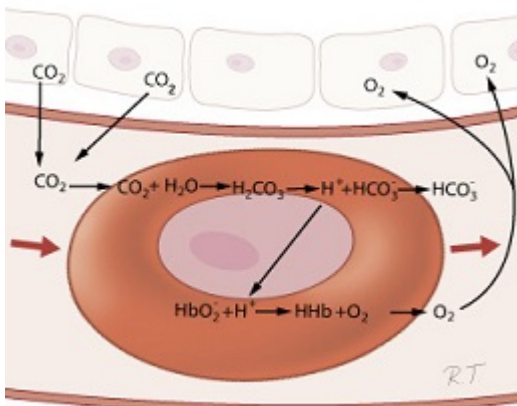
Hoofdstuk 15 Ademhaling

15.3. Gaswisseling

De gaswisseling is gebaseerd op het diffusiemechanisme: vanuit de ingeademde lucht diffunderen zuurstofmoleculen naar het bloed, en de koolstofdioxidemoleculen gaan in tegengestelde richting. Elk ademhalingsstelsel, bij welk soort organisme ook, is erop gebouwd om de **diffusiesnelheid** zo groot mogelijk te maken. Hier geldt de wet van Fick (zie paragraaf 2.4.1). Hoe groter het diffusieoppervlak en hoe kleiner de diffusieafstand, des te sneller kan de diffusie plaatsvinden. Ook moet het concentratieverschil zo groot mogelijk gehouden worden, door bijvoorbeeld de lucht voortdurend te verversen en het bloed zo snel mogelijk door te laten stromen. De longen van warmbloedige diersoorten zijn gebouwd op een optimale diffusie.



Figuur 9a. Gaswisseling tussen longblaasje en capillair



Figuur 9b. Gaswisseling tussen capillair en weefselcellen

De vele longblaasjes hebben samen, mede door hun grote elasticiteit, een groot oppervlak: bij rustige ademhaling ongeveer 70 m², bij diepe inademing ongeveer 100 m² (om je een idee te geven: het huidoppervlak van een volwassene bedraagt ongeveer 1,5 m²). Vanuit alveolaire lucht (de lucht in de longblaasjes) diffundeert zuurstof naar het relatief zuurstofarme bloed. De zuurstof hoeft hiervoor maar twee wanden te passeren: de wand van het longblaasje (= één cellaag) en de wand van het haarvat (één cellaag). De diffusieafstand is dus heel klein. Zuurstof lost slecht op in bloedplasma. Het meeste wordt gebonden aan hemoglobine in de rode bloedcellen. Per 100 ml bloed kan er maximaal 20 ml O₂ worden gebonden. Het bloed is dan met zuurstof verzadigd. Verzadigd bloed stroomt verder via de longaders naar het hart en vandaar naar de weefsels. In de alveolaire lucht is de koolstofdioxideconcentratie laag, zodat dit gas vanuit het bloed in de longblaasjes diffundeert. De hemoglobine in de rode bloedcellen neemt de zuurstof op en versnelt de afgifte van CO₂. Bekijk ook de animaties over ademhaling en gaswisseling op Bioplek (klik hier voor de tablet).

15.4. Ademhalingsbewegingen

Het is noodzakelijk om de concentratieverschillen van zowel zuurstof als koolstofdioxide in de longblaasjes op peil te houden. Dat doe je door voortdurende te ademen = 'ventileren' = lucht verversen. Longventilatie is dan ook: het voortdurend verversen van de alveolaire lucht; aanvoer van 'verse' lucht wordt afgewisseld met afvoer van 'afgewerkte' lucht. Je ververs je alveolaire lucht door in en uit te ademen. De ademhaling komt tot stand door bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif. Ook de longvliezen spelen hierbij een belangrijke rol.

Inademing

Inademing komt tot stand door verschillende delen van de borstwand actief te laten samenwerken. Inademing kost energie, doordat er spierarbeid verricht wordt. Door spiersamentrekkingen wordt de borstholte groter. Hierdoor rekken de longen uit en wordt de luchtdruk in de longen lager dan de luchtdruk buiten het lichaam. Door het luchtdrukverschil stroomt de lucht naar de longen; de lucht wordt naar binnen gezogen.

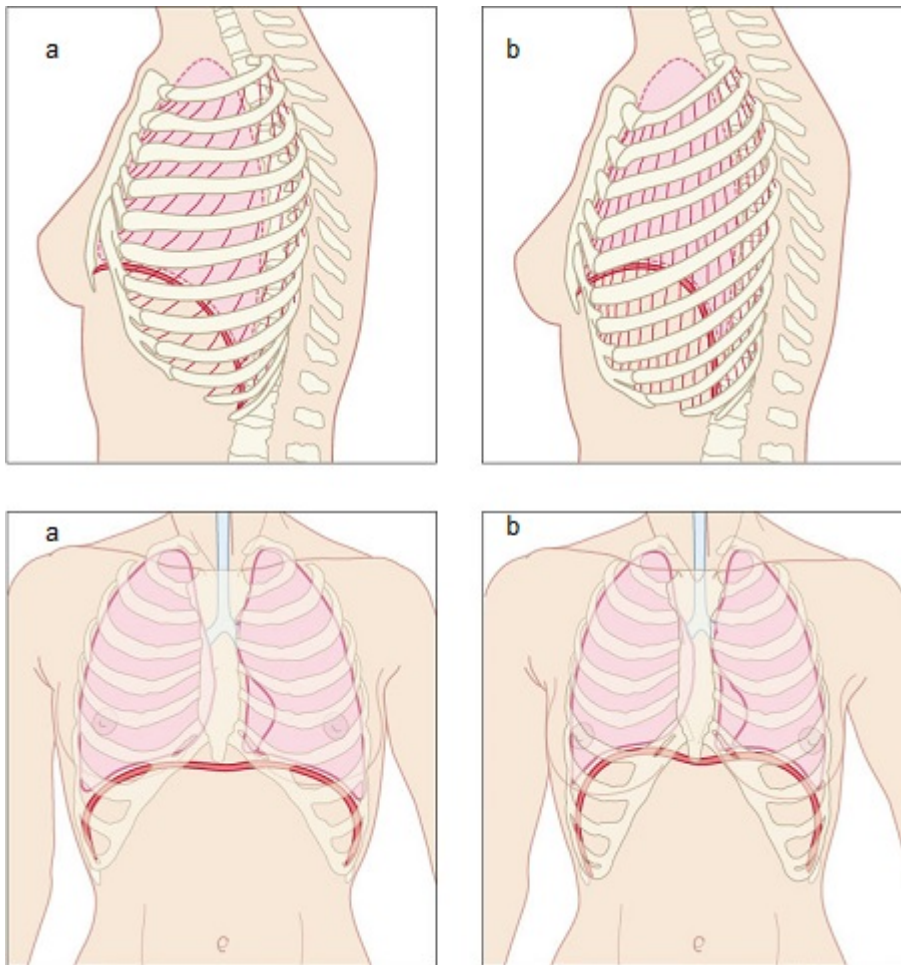
Bij de **buikademhaling**, ofwel **middenrifademhaling**, wordt het middenrif door de **middenrifspieren** naar beneden getrokken. Door het neerwaarts gaan van het middenrif komt de buikwand iets naar voren.

Bij **borstademhaling**, ofwel **ribademhaling**, worden de ribben en het borstbeen door bepaalde **tussenribspieren** omhoog getrokken.

Een normale, rustige ademhaling is een combinatie van de buik- en de borstademhaling. Bij een hele diepe inademing worden ook bepaalde halsspieren aangespannen. Hierdoor gaan de ribben en borstbeen nog verder omhoog, respectievelijk naar voren.

Bekijk hier een animatie van de adembewegingen (klik hier voor de tablet).

Hoofdstuk 15 Ademhaling



Figuur 10. Inademen (a) en uitademen (b)

Uitademing

De uitademing komt tot stand door verkleining van de borstholte. Dit gebeurt wanneer de ademhalingspijnen, die bij de inademing samengetrokken werden, zich ontspannen. Het middenrif gaat omhoog, de ribben en het borstbeen vallen terug, geholpen door de zwaartekracht. Ook de buikwand veert door de eigen elasticiteit terug. Gewone uitademing is dus een passief proces, dat geen spierarbeid kost.

Door de verkleining van de borstholte wordt het volume van de longen kleiner en wordt de lucht uit de longen geperst. Hierbij speelt de elasticiteit van de longblaasjes een grote rol; bij inademing zijn ze uitgerekt, en als elastiekjes rekken ze terug en dragen ze bij aan het luchtuitstroom. Je kunt het vergelijken met een ballonnetje dat je leeg laat lopen. De hevigheid waarmee dat gebeurt, is het gevolg van de elasticiteit van de ballonwand.

Je kunt ook actief uitademen, bij krachtig blazen bijvoorbeeld; dat kost wel energie, omdat daarbij bepaalde tussenribpijnen en buikpijnen aangespannen worden om de borstinhoud nog verder te verkleinen.

15.5. Longfunctie

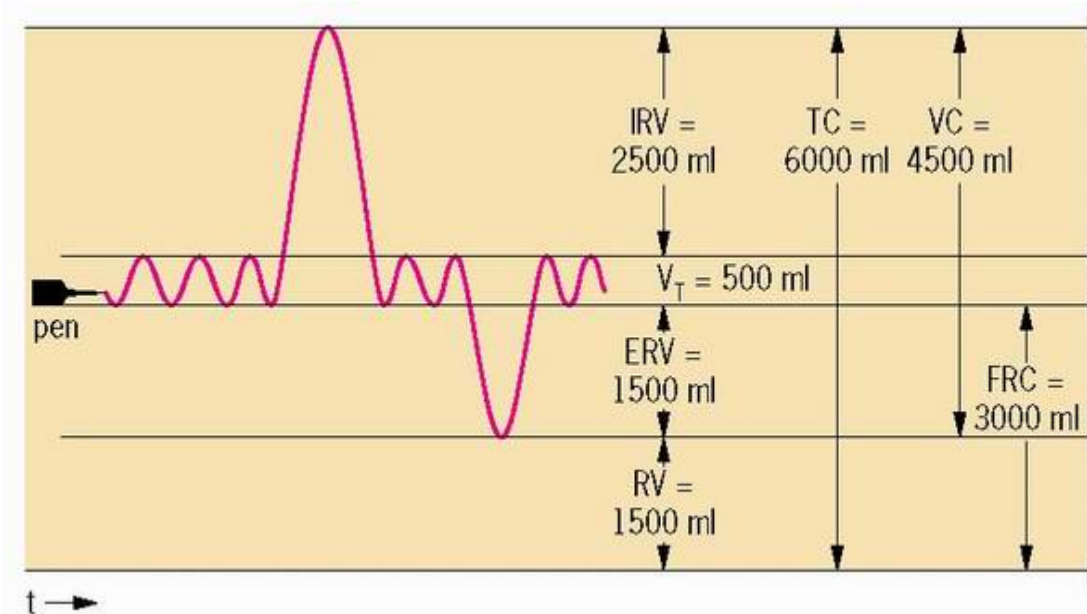
Door middel van een **spirometer** is het mogelijk metingen te verrichten van de hoeveelheid lucht (= volume) die iemand in- en uitademt. Je kunt door bepaalde **longvolumes** te meten en te berekenen een beeld krijgen van iemands **longfunctie**.

Bij een volwassene die rustig ademhaalt, is het **ademvolume** (V_T) ongeveer 0,5 liter. Dat betekent dat er per ademhaling 0,5 liter lucht verplaatst wordt. Wanneer een volwassene zo diep mogelijk inademt, is het volume ongeveer 3 liter. Wanneer je na een normale uitademing nog verder geforceerd uitademt, pers je nog ongeveer 1,5 liter lucht uit de luchtwegen. Er zit dan nog steeds lucht in de longen, want de longen kunnen nooit helemaal leeg geperst worden. Het **restvolume** (RV) bedraagt ongeveer 1,5 liter. Met bovenstaande getallen kan je de **totale capaciteit** (TC) berekenen: $0,5 + 2,5 + 1,5 = 6$ liter. Dit wordt het **maximale longvolume** genoemd.

Bij de bepaling van iemands longfunctie is de **vitale capaciteit** (VC) een belangrijke waarde. Het is de hoeveelheid lucht die in één ademhaling maximaal verplaatst kan worden, dus $0,5 + 2,5 + 1,5 = 4,5$ liter. De individuele waarde is afhankelijk van iemands lichaamsbouw, maar ook van de conditie. Is de vitale capaciteit kleiner dan 4,5 liter, dan kan dat betekenen dat deze persoon een verminderde beweeglijkheid heeft van de borstkas of dat de elasticiteit van de longen afgenomen is. Als dat laatste het geval is, dan blijft er te veel lucht achter in de longen.

Het aantal keren dat er per minuut geademd wordt, heet de **ademfrequentie**. In rust is de ademfrequentie gemiddeld 15. Tijdens inspanning kan dit oplopen tot 30.

De ademfrequentie in combinatie met het ademdeugvolume levert het **ademminuutvolume**. Dit is het volume lucht dat per minuut in- of uitgeademd wordt. Dit volume is afhankelijk van de ademfrequentie en van het ademdeugvolume. In rust is het ongeveer 7,5 liter/minuut, bij grote activiteit kan het oplopen tot $30 \times 3,5$ (of meer) = 105 liter/minuut (of meer). Hoe sneller je ademt, hoe oppervakkiger er ingeademd wordt. Het lukt dan niet om alle lucht in die zeer korte ademtijd te verplaatsen.



Figuur 11. Longvolumes, weergegeven door een spirograaf

Hoofdstuk 15 Ademhaling

Inspiratoir reservevolume (IRV) is het verschil tussen de 3 liter bij diepe inademing en de V_t ; gemiddeld bedraagt de IRV 2,5 liter.

Het expiratoir reservevolume (ERV) is de hoeveelheid lucht die nog extra geforceerd uitgeademd kan worden (= 1,5 liter). Het reservevolume (gemiddeld 1,5 liter) wordt met RV aangeduid.

Bekijk ook de animatie op Bioplek (klik hier voor de tablet).

	inademingslucht (verse lucht)	uitademingslucht (150 ml verse lucht, 350 ml oude lucht)	alveolaire lucht (oude lucht)
stikstof	79%	77%	75%
zuurstof	21%	16%	13%
koolstofdioxide	0,04%	4%	5%
water	0%	3%	7%

Tabel 1. Samenstelling van in- en uitademingslucht en van de lucht in de longblaasjes (alveolaire lucht)

In tabel 1 kun je zien dat stikstof de grootste component van de ingeademde lucht vormt. Dit gas komt door diffusie in het bloed, maar wordt ongebruikt weer uitgeademd. Buitenlucht bevat relatief weinig waterdamp. Tijdens de inademing wordt de lucht bevochtigd. Wanneer je uitademt, vindt er wateruitscheiding plaats. Er vindt ook enige warmteafgifte plaats, de lucht wordt immers in de luchtwegen opgewarmd. Daarom zijn de longen dus ook een uitscheidingsorgaan.

15.5.1. Dode ruimte

De **dode ruimte** is het deel van de luchtwegen waar geen gaswisseling kan plaatsvinden. Dat zijn: neus- en mondholte, keelholte en strottenhoofd, luchtpijp en luchtpijpvertakkingen en bronchiolen. Alleen in de longblaasjes vindt gaswisseling plaats.

Bij een normale ademhaling blijft er altijd ongeveer 3 liter lucht achter in de luchtwegen. In deze 3 liter lucht vindt gaswisseling plaats. Hierdoor 'verslechtert' de lucht in de longen (zuurstof wordt onttrokken en het koolstofdioxidegehalte neemt toe). De ingeademde lucht zorgt voor verversing: 'verse' lucht wordt voortdurend vermengd met 'afgewerkte' lucht. Er blijkt bij elke rustige ademteug slechts 0,35 liter verse lucht tot in de longen door te dringen. De rest ($0,5 - 0,35 = 0,15$ liter) zit in de dode ruimte. Van de totale hoeveelheid lucht die zich na een rustige inademing in de longen bevindt, is dus slechts 10% verse aanvoer. Dit lijkt weinig, maar het is uiterst functioneel. Hierdoor blijft namelijk de samenstelling van de alveolaire lucht vrijwel constant; er komen geen pieken in de zuurstof- of koolstofdioxideconcentraties voor. Grotere schommelingen in de gasconcentraties zouden heel schadelijk kunnen zijn voor de uiterst kwetsbare longblaasjes.

15.6. Regulatie van de ademhaling

Het zijn skeletspieren (= dwarsgestreepte spieren) die de adembewegingen mogelijk maken. Dwarsgestreepte spieren worden bestuurd door het animale zenuwstelsel. Toch gebeurt de ademhaling automatisch, doordat deze autonoom geregeld wordt. Je kunt het automatisch ademen bewust onderbreken, maar het is zo sterk dat het je niet lukt zó lang je adem in te houden tot je stikt. Onwillekeurig (zonder het te willen) ga je weer ademen.

Het autonome centrum van de ademhaling zit in de hersenstam. Dit zogeheten **ademcentrum** is een groep zenuwcellen die de diepte en de frequentie van de ademhaling regelt door de ademhalingspijpen te activeren of te remmen. Om dit te kunnen doen, moet het ademcentrum geïnformeerd worden over de ventilatiebehoefte. Dat gebeurt via sensoren in de wand van de halsslagaders en van de aorta. Dit zijn **chemoreceptoren**: zintuigcellen die gevoelig zijn voor de chemische veranderingen in het bloed. Deze zintuigcellen zijn erg gevoelig voor het koolstofdioxidegehalte van het bloed. Wanneer dat stijgt, wordt het ademcentrum gestimuleerd om de ademhaling te versnellen. Wanneer je weinig koolstofdioxide in je bloed hebt, remt het ademcentrum de ademhaling. Je merkt dit als je een paar keer heel diep ademhaalt. Daarna laat de eerstvolgende inademing even op zich wachten.

Hoewel het koolstofdioxidegehalte de voornaamste prikkel voor het ademcentrum is, zijn ook de zuurgraad en het zuurstofgehalte van het bloed van invloed. Een te lage zuurgraad (meestal het gevolg van teveel koolstofdioxide in het bloed) doet de ademfrequentie toenemen. De daling van het zuurstofgehalte van het bloed is een zwakke prikkel voor het ademcentrum.

Je kunt het **ademautomatisme** onderbreken, door de ademfrequentie bewust te vertragen of te versnellen. Zodra deze bewuste beïnvloeding vanuit de grote hersenen stopt, neemt het ademcentrum de regulatie over. In een aantal situaties stopt het ademautomatisme bewust of onbewust, bijvoorbeeld als je spreekt, zingt of fluit.

Verder wordt het ademautomatisme onderbroken bij: zuchten, geeuwen, niezen, hoesten, hikken, slikken, braken en persen. Hoesten en niezen zijn heftige uitademingen, veroorzaakt door reflexen die worden opgewekt door irritaties in neus- of keelholte. De functie is het schoonblazen van de luchtwegen.

15.7. Ademen en gezondheid

Waar je ook bent, ademen moet, elke minuut ongeveer 14 keer. Bij iedere ademhaling haal je een beetje buitenlucht je lichaam binnen. De ingeademde lucht wordt wel gefilterd door neusholte en luchtpijp, maar er komen toch altijd nog wel verontreinigingen in je longen en bloed terecht. Daar weet ons afweersysteem meestal raad mee, soms niet. De kwaliteit van de buitenlucht bepaalt dus voor een deel je gezondheid. Bovendien kunnen bepaalde gewoonten en gedragingen het ademhalingsstelsel nadelig beïnvloeden en zelfs ernstig schaden. Hieronder worden een aantal ziektes en aandoeningen van het ademhalingsstelsel besproken.

Bijholteontsteking

In de schedelbeenderen zijn meerdere bijholten, die in verbinding staan met de neusholte. Deze bijholten zijn bekleed met slijmvlies. De lucht die je inademt, bevat talloze kleine stofdeeltjes en vuiltjes. Ook zweven virussen en bacteriën in de lucht. Een verkoudheid heb je zo te pakken, zeker wanneer je conditie niet zo goed is. Als je neusverkouden bent, is het slijmvlies van je neus en bijholten gezwollen. Dit voelt als een 'verstopte neus'. Het slijmvlies produceert veel slijm (snot), om te proberen de

Hoofdstuk 15 Ademhaling

ziekteverwekker (bij een gewone verkoudheid altijd een virus) te verwijderen. Is het slijmvlies echt ontstoken, dan is de verkoudheid heviger en voel je je meestal ziek. In zo'n geval kun je ook een bijholteontsteking hebben en zit er etter (pus) in de holten. Omdat dit er moeilijk uit kan, duurt een bijholteontsteking vaak langer dan een gewone verkoudheid.

Keelontsteking

Ook via de mond- en keelholte komen veel ziektekiemen het lichaam binnen. Soms raken de keelamandelen, die de lichaamsvreemde stoffen aanvallen, ontstoken. Ze zwellen dan op en er zijn witte stippen op te zien. Dan is er sprake van een keelontsteking, ofwel **angina**. Meestal heb je dan koorts en behoorlijk veel keelpijn. Angina wordt veroorzaakt door bacteriën.

Bronchitis en longontsteking

Wanneer de ziektekiemen niet door neus- en keelholte worden tegengehouden, bestaat de kans dat de bronchiën ontstoken raken. Dan heb je een bronchitis (-itis = ontsteking van -). Dat gaat gepaard met hoesten en koorts. Zijn ook de longen zelf ontstoken, dan spreek je van een longontsteking (pneumonie). Iemand met een longontsteking is meestal behoorlijk ziek, met hoge koorts en benauwdheid. Wanneer een longontsteking niet behandeld wordt, kan het longweefsel aangetast worden. Zowel bronchitis als longontsteking worden meestal veroorzaakt door bacteriën. De aandoeningen moeten dan behandeld worden met een antibioticum (penicilline).

Astma

Mensen met astma hebben eigenlijk voortdurend een ontsteking van de luchtwegen, die af en toe leidt tot aanvallen van benauwdheid. De benauwdheid komt tot stand door samentrekkingen van de gladde spievezels in de bronchiolen. De longblaasjes worden hierdoor dichtgeknepen. Iemand die aan astma lijdt, is meestal overgevoelig (allergisch) voor allerlei stoffen in de lucht. Stoffen als pollen (=stuifmeel), huisstofmijt, schimmels en huidschilfers van huisdieren zijn dan de boosdoeners. Inademing hiervan kan een aanval van benauwdheid opwekken. Een astmapatiënt doet er goed aan zo min mogelijk in aanraking te komen met dergelijke stoffen. Hij moet zijn huis zoveel mogelijk stofvrij inrichten, geen huisdieren houden en in z'n doen en laten erg voorzichtig zijn. Bij spanningen en oververmoeidheid kan namelijk een aanval optreden.

COPD

COPD is de afkorting van Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Een van de COPD's is **chronische bronchitis**. Deze aandoening geeft dezelfde verschijnselen als bronchitis, het verschil is dat het steeds weer terugkomt. Het slijmvlies van de bronchiën is zó gevoelig dat er bij het minste en geringste een ontsteking optreedt. Roken blijkt vaak de oorzaak te zijn! Ook **emfyseem** is een COPD. Het is een kwaal waarbij de wand van de longblaasjes hun elasticiteit verloren hebben. De lucht wordt hierdoor met minder kracht uitgeademd. Wanneer je de lucht niet goed kwijt kan, is er ook geen plaats voor verse lucht. Het gevolg is dat iemand het altijd benauwd heeft. Op de röntgenfoto van de longen zie je dat de longen abnormaal vergroot zijn door de uitrekking van de longblaasjes. In feite komt een lichte vorm van emfyseem bij alle mensen op latere leeftijd voor. Emfyseem komt meestal voor bij mensen die astma of chronische bronchitis (gehad) hebben. De longblaasjes zijn hierdoor eerder 'versleten'. Roken kan emfyseem versnellen.

Longkanker

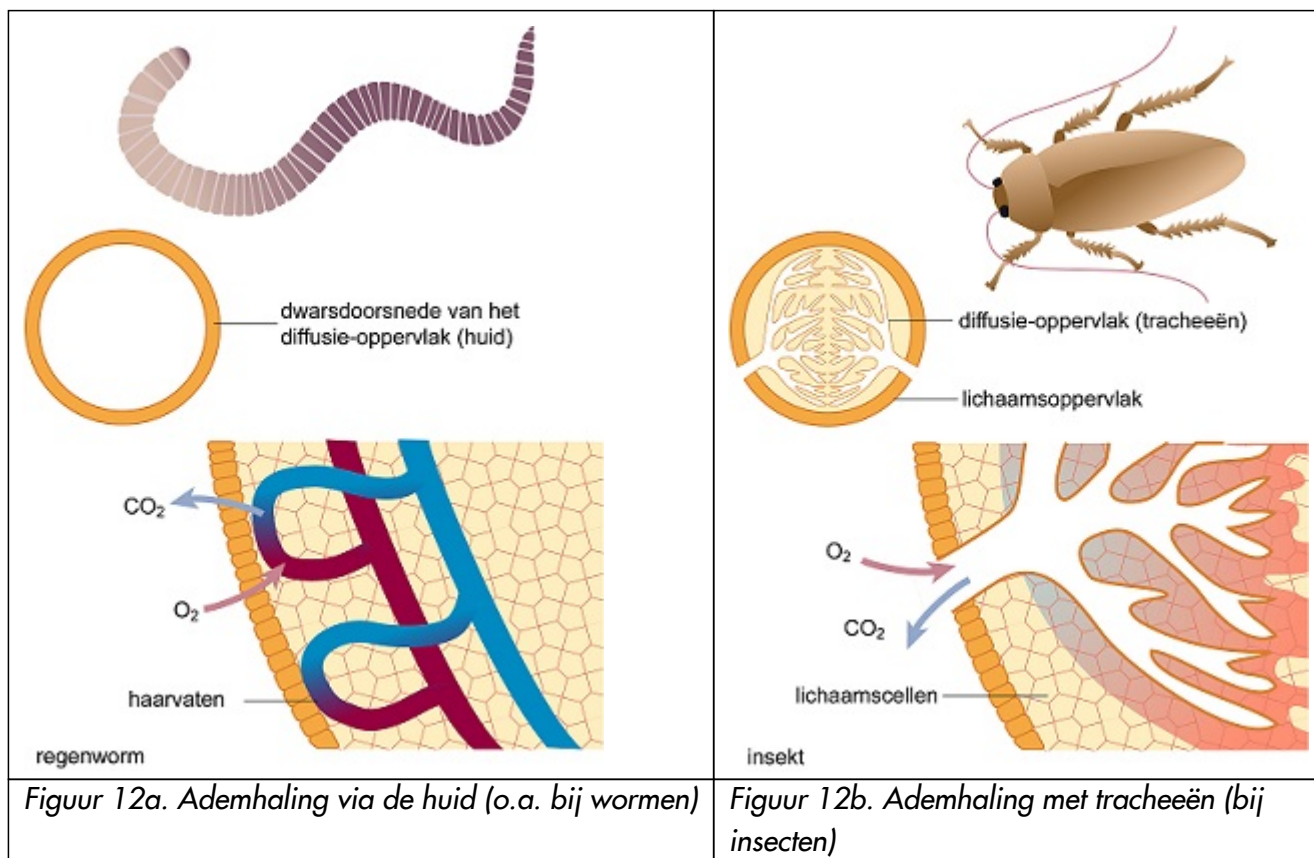
Sinds 1940 is het aantal mensen dat aan longkanker sterft zeer sterk toegenomen; eerst bij mannen, maar nu vrouwen sedert de jaren '60 ook steeds meer roken ook bij vrouwen. Er is een duidelijk statistisch verband met roken, hoewel ook mensen die niet roken de ziekte kunnen krijgen, de kans is alleen vele malen kleiner. De nicotine komt in het bloed terecht en heeft een opwekkende werking, maar ook een schadelijke: het is een verslavende stof. In de teerdruppeltjes die bij het roken in je longen achterblijven, zitten tientallen stoffen die longkanker kunnen veroorzaken. Ook niet-rokers krijgen in ruimten waar gerookt wordt een deel van die schadelijke stoffen binnen; dat is 'passief roken'. In sommige gevallen zijn andere vormen van luchtvervuiling de oorzaak van longkanker. Longkanker wordt vaak pas laat ontdekt, doordat het gezwel lange tijd kan bestaan voordat er klachten optreden. Daardoor is de ziekte, eenmaal geconstateerd, in de meeste gevallen niet te genezen.

Hoofdstuk 15 Ademhaling

15.8. Ademhaling bij dieren

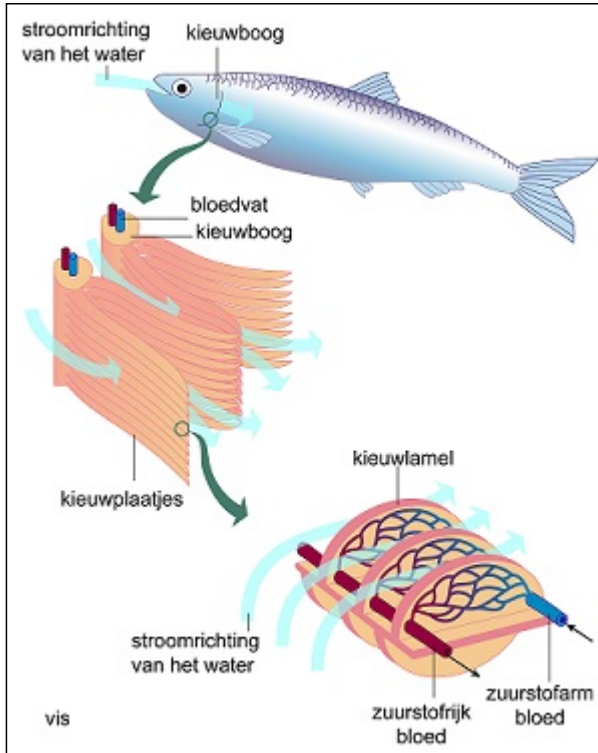
Regenwormen hebben geen intensieve stofwisseling en ze leven in een milieu waar niet altijd veel zuurstof aanwezig is. Hun bloed bevat hemoglobine (is dus rood). Wormen hebben een gesloten bloedsomloop met bloedvatjes die vlak onder de dunne vochtige huid lopen. Dit veroorzaakt de roodachtige kleur. Hun hele huid dient als ademhalingsorgaan.

Insecten hebben een **chitinelag** op hun huid, waar geen zuurstof doorheen gaat. Zij bezitten een vertakt systeem van fijne kanaaltjes, de **tracheeën**, die uitmonden in de huid en in open verbinding met de buitenlucht staan. Via de tracheeën kan de lucht in alle delen van het lichaam naar de lichaamsvloeistof diffunderen. Het bloed vervoert bij insecten dus geen gassen.

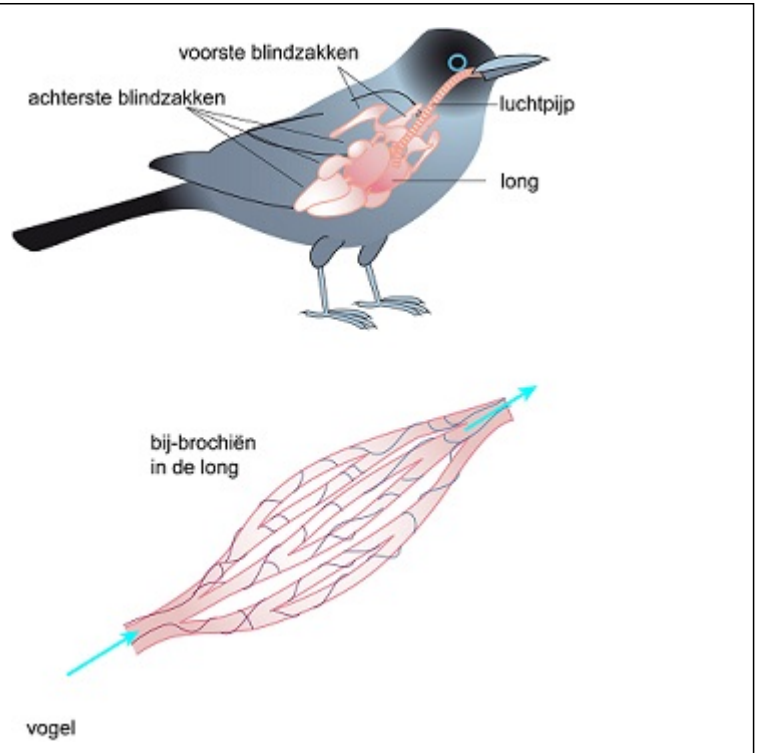


Omdat zuurstof slecht oplost in water, is het voor dieren, die onder water moeten ademen, lastig om voldoende zuurstof binnen te krijgen. Deze diersoorten zijn dan ook altijd exotherm (koudbloedig). De endotherme (warmbloedige) waterdieren zijn dolfinnachtigen en dergelijke die lucht ademen. Alle ademhalingsstelsels zijn aangepast aan de levenswijze van het dier en erop gebouwd een zo groot mogelijke diffusie van gassen te realiseren.

Waterdieren, zoals vissen en kreeften, hebben kieuwen waarin bloedvatjes vlak onder een zeer dun dekweefsel lopen. Het bloed stroomt tegen de stroomrichting van het water in, waardoor het concentratieverschil zo groot mogelijk wordt gehouden. Sommige snel zwemmende vissen als tonijnen kunnen hiermee zelfs voldoende zuurstof opnemen om praktisch warmbloedig te kunnen zijn, hun lichaamstemperatuur ligt ver boven de watertemperatuur als ze op jacht zijn. Bekijk de animatie op Bioplek (klik hier voor iPad of tablet).



Figuur 13a. Ademhaling via kieuwen (vissen)



Figuur 13b. Ademhaling met longen luchtzakken (vogels)

Kijk op Bioplek voor de verschillende typen ademhaling (klik hier voor de tablet).

