

11.1 Inleiding

De lichaamscellen hebben energie nodig. Die komt vrij door verbranding van glucose, vetten en eventueel eiwitten. Daar is zuurstof (O_2) voor nodig. Bij verbranding ontstaat kooldioxide (CO_2). De gassen O_2 en CO_2 moeten continu worden aan- respectievelijk afgevoerd via de circulatie. Ze worden ook wel bloedgassen of ademgassen genoemd. Ademhaling begint fysiologisch gezien bij de aanvoer en opname van O_2 en verloopt via oxidatieve omzetting van voedingsstoffen in de cellen tot afgifte van CO_2 aan de omgeving.

De hoofdfunctie van de ademhaling is het binnen bepaalde grenzen houden van de O_2 - en CO_2 -concentraties in het bloed. Anders gezegd: de ademhaling zorgt ervoor dat veranderingen in de O_2 - en CO_2 -concentraties ongedaan worden gemaakt. Daarmee draagt de ademhaling ook bij aan het handhaven van het zuur-base-evenwicht van het interne milieu. Bij de ademhaling zijn luchtwegen, longen en circulatie betrokken.

11.2 Luchtwegen en longen

De luchtwegen hebben verscheidene functies.

Ten eerste vormen ze een buizenstelsel voor transport. Maar ze doen meer. Tijdens het transport door de luchtwegen wordt de lucht verwarmd, bevochtigd en gereinigd. Stofdeeltjes en bacteriën worden grotendeels verwijderd voordat de lucht de longblaasjes bereikt (▣fig. 11.1).

11.2.1 Luchtwegen

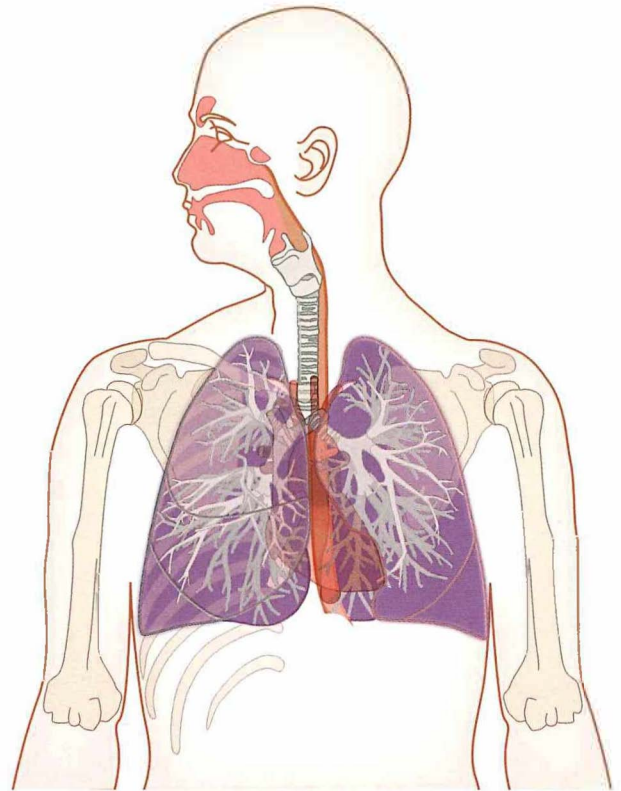
Neus-, mond- en keelholte

In de neusholte is het contactoppervlak tussen neusslijmvlies en ingeademde lucht vergroot door plooien (neusschelpen). Het neusslijmvlies dat de neusholte bekleedt, bestaat uit slijmvliescellen en trilhaarcellen. Het slijmvlies is sterk doorbloed. Dat draagt bij aan het verwarmen en bevochtigen van de ingeademde lucht. Boven in de neusholte bevinden zich reuk- en zintuigcellen die geuren waarnemen. Het waarnemen van geuren draagt bij aan de smaaksensatie. De 'smaak' van voedsel wordt namelijk grotendeels bepaald door de geur. Bij een neusverkoudheid 'proef' je veel minder, terwijl de smaakzintuigen intact zijn.

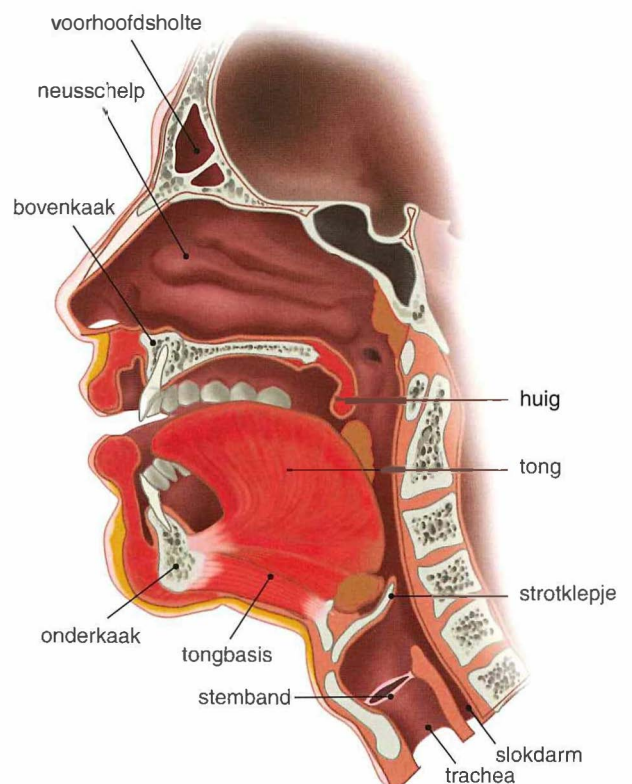
Vanwege al deze functies is ademhaling via de neus beter dan via de mond, maar bij zware inspanning en neusverkoudheid is ademhaling via de mond nodig.

In de keelholte (*farynx*) komen de routes van de ademhaling en spijsvertering samen (▣fig. 11.2). Bij de ingang van het strottenhoofd (*larynx*) scheiden de twee wegen zich: lucht gaat verder via de trachea, terwijl voedsel via slikken in de slokdarm komt. De ademhaling stopt even, de stemspleet wordt gesloten en het strotklepje helpt mee het voedsel in de richting van de slokdarm te transporteren. Zo wordt voorkomen dat voedsel of drank in de luchtpijp terechtkomt (►par. 12.2.2).

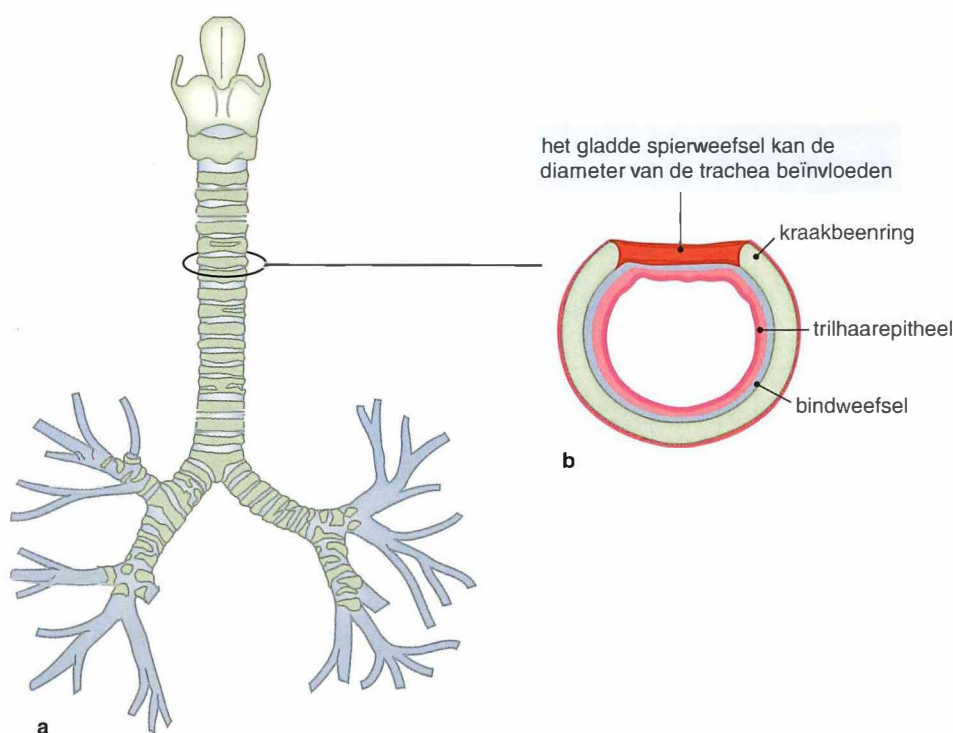
In het strottenhoofd bevinden zich de stembanden. Ze kunnen door contractie van spiertjes meer of minder strak



▣ Figuur 11.1 Luchtwegen en longen



▣ Figuur 11.2 Doorsnede door neus, mond en keel



01 **Figuur 11.3** a en b Bouw van de trachea

gespannen worden. Luchtstroom brengt de stembanden in trilling. De spanning en de trillingsfrequentie van de stembanden bepalen de hoogte van het stemgeluid.

Trachea

Vanuit de larynx stroomt de inademiingslucht de *trachea* (luchtpijp) in. De wand van de trachea is verstevigd met kraakbeenringen. Dat zijn eigenlijk C-vormige kraakbeenstroken die de trachea openhouden wanneer er tijdens de inademing onderdruk ontstaat. De opening van de C-vormige ring ligt aan de achterzijde van de trachea (fig. 11.3a). Daar wordt de trachea afgesloten door glad spierweefsel. Door contractie en relaxatie van dit spierweefsel kan de diameter van de trachea variëren. Zo wordt de diameter tijdens zware inspanning groter.

Bronchiën

Aan het onderste uiteinde van de trachea vertakt de luchtweg zich in een rechter- en linkerhoofdbronchus. De rechter vertakt zich vervolgens in drie bronchiën naar de drie rechterlongkwabben; de linker in twee bronchiën naar de twee linkerlongkwabben.

Daarna vertakken de bronchiën zich nog ongeveer twintig keer.

Alle bronchiën bij elkaar zien eruit als een omgekeerde boom, vandaar de naam 'bronchiaalboom'.

Grote bronchiën hebben kraakbeenstukjes, kleine niet. Vanaf de achtste vertakking is de diameter ongeveer 1 mm. Deze kleinere takken heten bronchioli. Vanaf de zeventiende vertakking (met een diameter van 0,5–1 mm) zitten er al enkele *alveoli* of longblaasjes aan. Zo'n bronchiolus heet *bronchiolus respiratorius*. Bij verdere vertakkingen zitten er steeds meer alveoli aan. Aan het uiteinde zit een 'trosje' alveoli (fig. 11.3c).

De luchtwegen zijn aan de binnenzijde bekleed met slijmvlies. De ingeademde lucht wordt hierdoor verder verwarmd en bevochtigd. In het slijm raken stofdeeltjes en micro-organismen verstrikt. Trilharen bewegen het slijm als een roltrap continu omhoog naar de keelholte, waar het wordt doorgeslikt.

Rook remt de trilhaarbeweging en irriteert de slijmvormende cellen. Dat leidt op den duur tot een ontsteking (chronische bronchitis) met meer slijmvorming. Bij ophoping van slijm kan door micro-organismen gemakkelijk een luchtweg-infectie (acute bronchitis) of longontsteking (pneumonie) worden veroorzaakt.

11.2.2 Longen

Alveoli

Aan het einde van de bronchiaalboom bevinden zich de alveoli. Aan de bronchiolus respiratorius zitten er al enkele, aan het eind zit er een tros alveoli (fig. 11.3). Een volwassen man heeft naar schatting 300 miljoen alveoli met een diameter van 0,2 mm. Het alveolaire weefsel wordt ondersteund door elastische en collageen vezels in het interstitium.

Tussen naast elkaar liggende alveoli zijn er kleine openingen: de poriën van Kohn, waardoor lucht van de ene naar de andere alveolus kan. Dat heet collaterale ventilatie.

Gaswisseling

De wand van alveoli is heel dun en rijk aan capillairen. Door de alveolaire wand vindt gasuitwisseling plaats tussen de alveolaire lucht en het bloed in de capillairen. Dat transport van O₂ en

zone	luchtweg	generatie	aantal	diameter (mm)	totale doorsnede (cm ²)
geleidingszone	trachea	0	1	19	3
	bronchi	1			
		2			
		3	20	6	6
	bronchioli	4			
		5			
		16	3.10 ⁴	0,6	85
	terminale bronchioli	16			
		17			
		18	2.10 ⁵	0,5	390
overgangs- en respiratoire zone	bronchioli respiratorii	19			
		20			
		21			
	alveolaire buisjes	22			
		23			
	alveoli				

■ **Figuur 11.3** c Bronchiaalboom

CO₂ gebeurt door diffusie: van een gebied met een hoge druk naar een gebied met een lage druk.

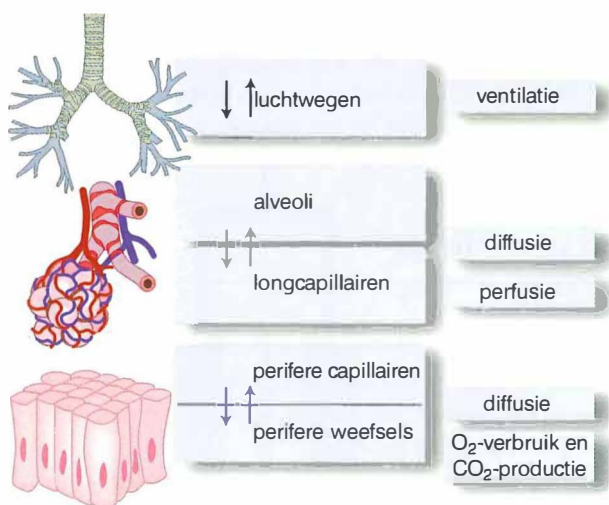
Diffusie van gassen door een wand is onder meer afhankelijk van de wanddikte en het oppervlak. De wanden zijn dun en het alveolaire oppervlak is groot: circa 70 m² bij een volwassene. De capillairen liggen dicht tegen het alveolaire weefsel aan. Al deze factoren bevorderen de gasuitwisseling tussen alveoli en capillairen.

Surfactans

Aan de binnenzijde van de alveoli bevindt zich een vloeistoflaagje dat zorgt voor een oppervlaktespanning. Daardoor

hebben alveoli de neiging kleiner te worden; vergelijkbaar met een ballon die leegloopt. Bij elke inademing moet deze oppervlaktespanning worden overwonnen om de longen te doen uitzetten.

Klierzellen in de alveolairwand scheiden een stof af die de oppervlaktespanning verlaagt: *surfactans*. Door de aanwezigheid van surfactans is er minder druk (een kleiner drukverschil) nodig om de alveoli uit te laten zetten en open te houden. Anders gezegd: door de surfactans zijn de alveoli gemakkelijker rekbaar. Dat wordt aangegeven met het begrip rekbaarheid of *compliantie*. Dat geeft aan hoeveel drukverandering nodig is



■ Figuur 11.4 Schema ventilatie-diffusie-perfusie

om een bepaalde volumeverandering tot stand te brengen. De vergelijking luidt:

$$\text{compliantie} = \frac{\text{verandering van volume}}{\text{verandering van druk}} \text{ of } C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Compliantie

Bij een lage compliantie zijn de longen weinig rekbaar. Er is dan een groot drukverschil nodig om de alveoli uit te laten zetten. Het vereist dan veel spierkracht om in te ademen. Dit komt voor bij te vroeg geboren baby's die nog weinig surfactans hebben (►kader 11.1), en bij mensen met longfibrose, waarbij stug bindweefsel in de alveolairwand het uitzetten bemoeilijkt.

Bij een hoge compliantie zijn de longen juist heel rekbaar. Er is niet veel druk nodig om de longen uit te laten zetten. Dat komt voor bij mensen met longemfyseem. Hun longweefsel rekt gemakkelijk uit, maar veert niet gemakkelijk terug (►par. 11.3.5 en ►kader 11.4).

Kader 11.1 Ademhalingsproblemen bij te vroeg geboren baby's

Na de geboorte moet de baby overgaan van gaswisseling in de placenta naar gaswisseling in zijn longen. Voor de geboorte heeft de foetus al adembewegingen gemaakt, waardoor vruchtwater in zijn luchtwegen en longen is gekomen. Tijdens de geboorte is dit vocht er grotendeels weer uitgeperst. Door de adembewegingen na de geboorte worden de longen ontplooid en de luchtwegen en longen worden gevuld met lucht.

Voor een blijvende ontplooiing van de longen moet er voldoende surfactans zijn. Dat wordt pas vanaf ongeveer de 24e week van de zwangerschap gemaakt. Daardoor hebben baby's die veel te vroeg zijn geboren (premature baby's), te weinig surfactans. Ze moeten daardoor veel arbeid leveren om hun longen bij elke inademing voldoende te laten ontplooiën. Ook zijn hun longen (alveoli) nog niet uitontwikkeld. Daardoor kunnen ziekteverschijnselen ontstaan zoals intercostale intrekkingen,

kreunen, neusvleugelen, een blauwe kleur (cyanose), hoge hartfrequentie (tachycardie) en hoge ademfrequentie (tachypnoe). Dit ziektebeeld heet infant respiratory distress syndrome (IRDS). Daarbij bestaat hypoxie, hypercapnie en acidose (►par. 11.5.2). De bloeddruk kan sterk wisselen. Een wisselende bloeddruk kan hypoxie in de hersenen veroorzaken, met een hersenbeschadiging tot gevolg. Ook hersenbloedingen door een te hoge bloeddruk komen voor. Wanneer de bevalling zich veel te vroeg aandient, krijgt de moeder corticosteroïden toegediend. Die bevorderen namelijk het aanmaken van surfactans door de baby. Bij baby's met IRDS wordt surfactans in de trachea gedruppeld om de longontplooiing te bevorderen. Vaak worden ze beademd en krijgen ze zuurstof toegediend.

Drie functies

In deze paragraaf zijn de anatomische ingrediënten besproken om de ademhalingsfysiologie te kunnen beschrijven. In de ademhalingsfysiologie zijn drie functies belangrijk, die op elkaar afgestemd moeten zijn: ventilatie, diffusie en perfusie (►fig. 11.4). Deze onderdelen komen in volgende paragrafen aan bod.

11.3 Ventilatie: mechanica van de ademhaling

Voor het transport van lucht van buiten tot in de alveoli en omgekeerd (ventilatie) zijn adembewegingen nodig. Deze bewegingen worden teweeggebracht door het diafragma (mid-denrif), en de thorax- en buikspieren. De adembewegingen veroorzaken drukveranderingen waardoor luchttransport optreedt.

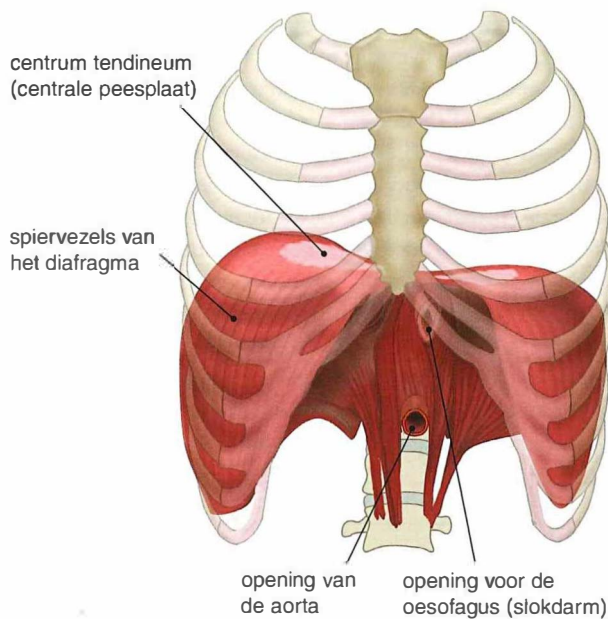
Om de druk aan te geven bij het ademhalingsproces wordt deze beschreven in relatie tot de luchtdruk. Deze is op zeeniveau 760 mmHg of 1 atmosfeer (101,3 kPa). Een (negatieve) druk van 4 mmHg (–0,5 kPa) in de pleuraholte betekent dat de druk daar 4 mmHg lager is dan de luchtdruk.

11.3.1 Adembewegingen

Pleura en pleuraholte

De longen liggen in de thoraxholte. De longen zijn omgeven door een dubbel longvlies. Het binnenste longvlies heet *pleura pulmonalis* of *pleura visceralis*; het buitenste longvlies heet *pleura thoracalis* of *pleura parietalis*. Dit buitenste longvlies bekleedt de binnenkant van de thorax en de bovenzijde van het diafragma.

Tussen de twee longvliezen bevindt zich een vloeistoflaagje, waardoor de vliezen bij het ademen bijna zonder wrijving over elkaar schuiven. De ruimte tussen de twee vliezen, waarin de vloeistoflaag zich bevindt, heet pleuraholte of intrapleurale holte. De thoraxholte en pleuraholte zijn te zien in ►fig. 11.8.



■ Figuur 11.5 Diafragma

Ademspieren en adembewegingen

Inademing. Bij rustige inademing is de belangrijkste ademhalingsspier het diafragma of middenrif. Deze spier ziet eruit als een koepel, met de bolle kant boven. Het midden bestaat uit een peesplaat (*centrum tendineum*). Vanuit deze peesplaat lopen spiervezels naar de wervelkolom, de onderste ribben en de onderste punt van het sternum. Bij contractie wordt de koepel platter; de peesplaat wordt naar beneden getrokken. Daardoor wordt de thoraxholte vergroot. Door contractie van het diafragma worden ook de ribben omhoog getrokken. Doordat ze scharnieren met de wervels en het sternum, wordt ook door deze beweging de thoraxholte vergroot (■fig. 11.5).

De longen volgen de uitzetting van de thoraxholte. Daardoor wordt lucht de longen in gezogen.

Doordat het centrum van het diafragma naar beneden wordt verplaatst, neemt de druk op de buikorganen toe. De buikwand kan naar voren komen.

Uitademing. Uitademing is een passief proces: rustige uitademing vindt plaats zonder spieractiviteit. Het diafragma ontspant. Door elastische krachten van het uitgerekte weefsel van de longen, thorax en buikwand, zakken de ribben en komt de koepel van het diafragma omhoog. Door deze twee bewegingen wordt de thoraxinhoud kleiner en stroomt lucht uit de longen: uitademing of expiratie.

Ademhaling bij inspanning. Bij inspanning worden meer spieren ingezet bij de inademing, zoals de mm. scaleni die de bovenste ribben heffen. Ook worden de uitwendige tussenribspieren (mm. intercostales externi) ingezet. Hun voornaamste functie is het stabiliseren van de thorax. Ze zorgen ervoor dat bij inademing het weefsel tussen de ribben niet naar binnen wordt gezogen.

Bij zware inspanning worden de mm. sternocleidomastoidei, mm. scaleni, mm. pectorales minor en mm. serrati ingezet als hulpademhalingspijnen. De m. sternocleidomastoideus, m. scalenus en m. pectoralis minor helpen met het heffen van

de borstkas en de claviculae, terwijl de m. serratus expansie van de ribben ondersteunt. Voor een krachtige uitademing fungeren de rechte en schuine buikspieren als hulpademhalingspijnen. Ze trekken de ribben en het sternum omlaag en drukken het diafragma via druk op de buikorganen omhoog.

11.3.2 Longvolumes

Longvolumes

Longvolumes kunnen worden bepaald met een spirometer. De maximale longinhoud kan worden verdeeld in verschillende deelvolumes (■fig. 11.6 en 11.7).

De volgende longvolumes worden onderscheiden.

- AV Het ademvolume is het volume lucht dat bij een rustige ademhaling wordt in- en uitgeademd.
- IRV Het inspiratoire reservevolume is het volume dat extra kan worden ingeademd 'boven op' een rustige inademing.
- ERV Het expiratoire reservevolume is het volume dat extra kan worden uitgeademd na een rustige uitademing.
- RV Het residuale volume of residu is het volume lucht dat na maximale uitademing in de longen aanwezig is. Het residuale volume kan overigens niet via spirometrie worden bepaald. Het wordt bepaald via een heliumverduunningsmethode of door middel van lichaamsplethysmografie.

Capaciteiten

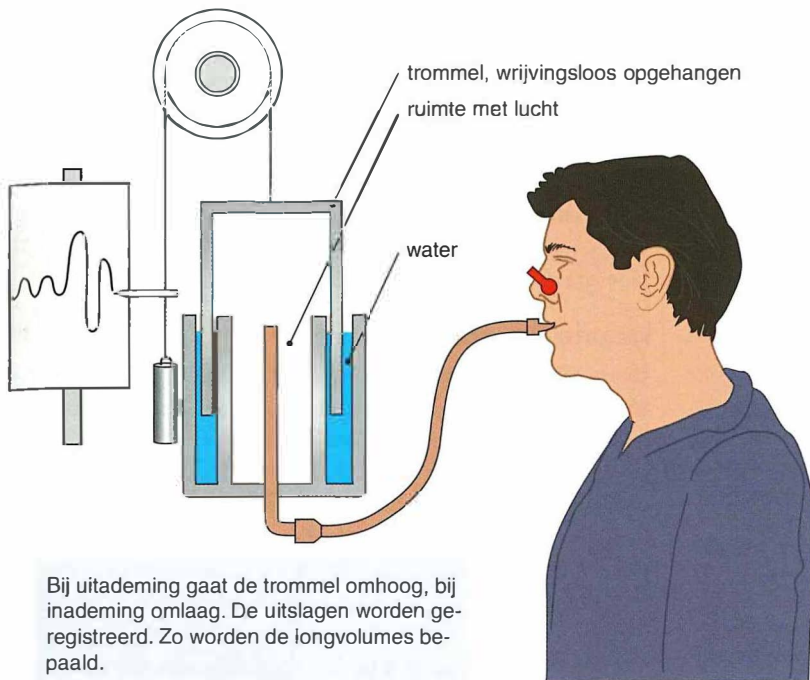
Het begrip (long)capaciteit wordt gebruikt om een combinatie van twee of meer longvolumes aan te geven. De volgende longcapaciteiten worden onderscheiden.

- IC De inspiratoire capaciteit is het volume dat na een rustige uitademing maximaal ingeademd kan worden ($AV + IRV$).
- FRC De functionele residuale capaciteit is de inhoud van de longen na een rustige uitademing ($ERV + RV$).
- VC De vitale capaciteit is het maximale volume dat in- of uitgeademd kan worden ($IRV + AV + ERV$).
- TLC De totale longcapaciteit is het maximale volume van de longen, inclusief het residuale volume ($IRV + AV + ERV + RV$).

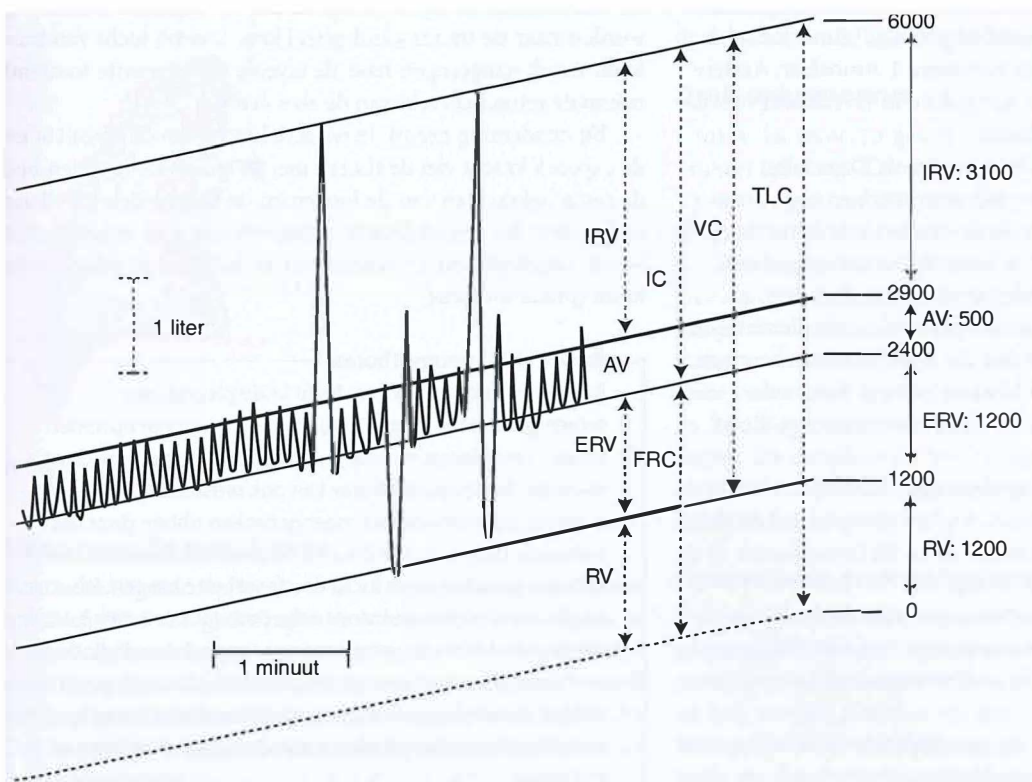
11.3.3 Krachten die ventilatie bewerkstelligen

Ventilatie is het transport van lucht van buiten tot in de alveoli en vice versa. Dit transport vindt plaats door drukverschillen tussen de buitenlucht en alveoli die ontstaan door adembewegingen. Lucht stroomt van een gebied met hoge druk naar een gebied met lage druk. We bespreken eerst de verschillende drukken die bij het ademhalingsproces van belang zijn. Daarna wordt besproken hoe de drukverschillen ontstaan.

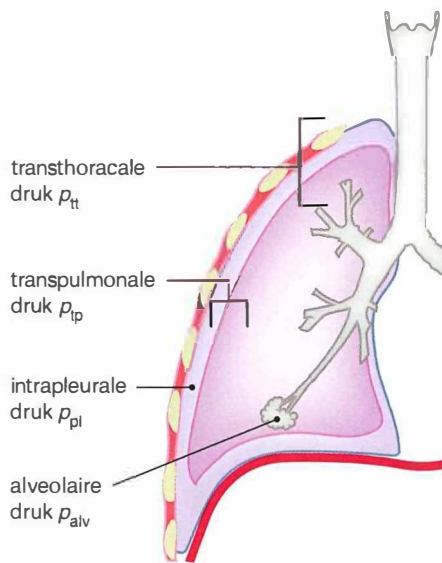
11.3 · Ventilatie: mechanica van de ademhaling



Figuur 11.6 Spirometrie



Figuur 11.7 Spirogram



■ **Figuur 11.8** Drukken in de thorax

Drukken

In de thorax worden verschillende drukken onderscheiden, naar de plaats van de drukverschillen (■ fig. 11.8).

- p_b of p_{atm} De druk van de buitenlucht wordt aangegeven met p_b (barometerdruk) of p_{atm} (atmosferische druk). Deze is op zeeniveau 1 atmosfeer. Andere drukken worden aangeduid *in vergelijking met de atmosferische druk*.
- p_{alv} De p_{alv} is de druk in de alveoli. Deze is bij ontspannen ademhalingspijpen en open stembanden dezelfde als de druk van de buitenlucht. Vergelijken met de buitenlucht is de p_{alv} dan 0. Gedurende de ademcyclus verandert de p_{alv} .
- p_{pl} De p_{pl} is de druk intrapleuraal, in de pleuraholte. De druk is lager dan die in de buitenlucht: circa -4 mmHg ($-0,5$ kPa) en varieert tijdens de ademhaling. De druk komt overeen met die in de slokdarm: p_{oes} .
- p_{tp} De p_{tp} is de transpulmonale druk: de druk over de alveolairmembraan. Anders gezegd: het verschil tussen de alveolaire druk en de intrapleurale druk ($p_{alv} - p_{pl} = p_{alv} - p_{oes}$).
- p_{tt} De p_{tt} is de transthoracale druk: de druk over de thoraxwand. Anders gezegd: het verschil tussen de alveolaire druk en de buitendruk ($p_{alv} - p_b$).

Laten we eens kijken naar de verschillende drukken en wat hun rol is bij de ademhaling. Luchttransport treedt op door drukverschillen. Dat is al eerder genoemd. Daarbij speelt de intrapleurale druk een grote rol. Er heerst een negatieve druk rondom de longen, tussen de pleurabloden. Die ontstaat door elastische eigenschappen van enerzijds het longweefsel en anderzijds de thorax(wand).

Elastische eigenschappen

Wanneer een gat ontstaat in de thoraxwand, in een experiment met proefdieren of door een ongeluk, is er een open verbinding tussen de pleuraholte en de buitenlucht. Dat leidt tot:

- samenvallen (collabereren) van de longen; het volume wordt zelfs kleiner dan het residuale volume;
- uitzetten van de thorax.

Hoe zijn deze gevolgen te verklaren?

Negatieve intrapleurale druk

Door elastische en collagene vezels in de alveolairwanden en het vloeistoflaagje aan de binnenzijde ervan hebben alveoli de neiging kleiner te worden. Dat heet de *retractiekracht* van de alveoli of van de longen (■ fig. 11.9). Onder normale omstandigheden is de pleuraholte tussen longen en borstwand lucht vrij, waardoor de long niet kan collabereren. Hierdoor ontstaat een onderdruk in de pleuraholte. Dit heeft tot gevolg dat de thoraxwand naar binnen wordt getrokken. Het rustvolume van de thorax zonder longen is groter. De thoraxwand heeft de neiging uit te zetten. Dat heet de *expansiekracht* van de thorax. De retractiekracht van de longen en expansiekracht van de thorax zijn tegengesteld aan elkaar. De negatieve druk bedraagt op het moment dat er geen adembewegingen zijn ongeveer -4 mmHg ($-0,5$ kPa of -5 cmH₂O).

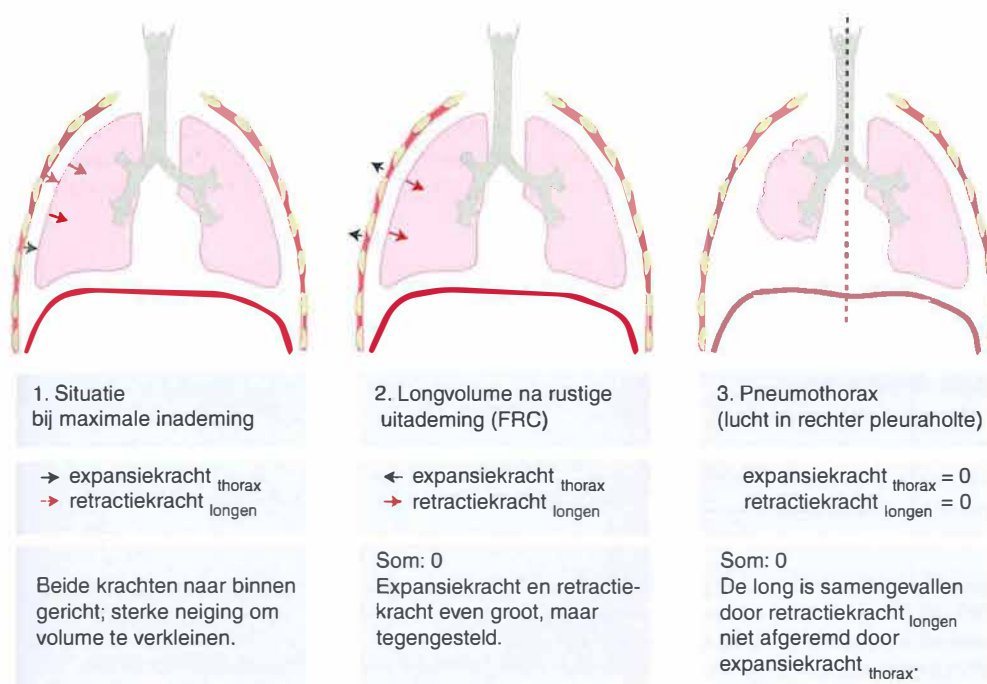
Bij inademing maken spiercontracties de thorax wijder en daardoor de intrapleurale druk sterker negatief. De longen worden naar de thoraxwand getrokken, waarbij lucht van buitenaf wordt aangezogen naar de alveoli. In uitgezette toestand neemt de retractiekracht van de alveoli toe.

Bij uitademing neemt de retractiekracht van de alveoli af en de expansiekracht van de thorax toe. ■ Figuur 11.9 laat zien hoe de retractiekrachten van de longen en de thorax zich tot elkaar verhouden bij verschillende ademvolumes. In ► kader 11.2 wordt uitgelegd wat er gebeurt als er lucht in de pleuraholte komt (pneumothorax).

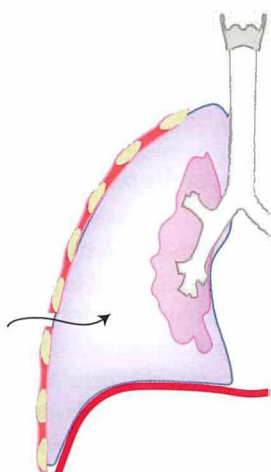
Kader 11.2 Pneumothorax

Bij een pneumothorax is er lucht in de pleuraholte terechtgekomen (■ fig. 11.10). Dat kan spontaan optreden als een longblaasje scheurt, vooral bij verder gezonde jonge mannen. Een pneumothorax kan ook ontstaan door een ongeval, bijvoorbeeld wanneer gebroken ribben door het buitenste pleurablod of door beide pleurabloden prikken. In beide gevallen komt lucht de pleuraholte binnen. De negatieve druk valt daardoor weg. Daardoor collabeert longweefsel: het valt samen, als een leeggelopen ballon: soms een klein deel van het longweefsel, soms een groot deel of de hele long. Het samengevallen deel neemt niet meer deel aan de ventilatie en aan de gasuitwisseling met het bloed.

Een grote pneumothorax moet daarom snel behandeld worden. De behandeling bestaat uit het afvoeren van de lucht in de pleuraholte via een drain. De drain is zo gebouwd dat lucht uit de pleuraholte wordt afgevoerd, terwijl er via de drain geen lucht wordt aangevoerd. Zo worden het vacuüm en de onderdruk hersteld en zet het longweefsel weer uit.



■ **Figuur 11.9** Elastische eigenschappen van de longen en de thoraxwand



■ **Figuur 11.10** Pneumothorax

Metten van de compliantie

Elastische eigenschappen van de longen zijn al besproken, inclusief hun rol gedurende de ademcyclus. De elastische eigenschappen kunnen worden gemeten door tegelijkertijd de druk en het volume van de longen te meten. Daarbij wordt het begrip rekbaarheid (compliantie of *compliance*) gebruikt. Dat begrip geeft de relatie aan tussen volumeverandering en drukverandering:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Sterk rekbaar weefsel zoals een slappe ballon heeft een grote compliantie: bij een gegeven drukverandering neemt het volume sterk toe. Anders gezegd: de ballon is met weinig druk op te blazen. Weinig rekbaar weefsel zoals een stugge (nieuwe)

ballon laat een kleine volumeverandering zien bij een gegeven drukverandering. Anders gezegd: er is in dat geval een grotere druk nodig om de ballon op te blazen.

Druk-volumecurve

Druk-volumecurven geven aan hoe het volume verandert bij drukverandering. Dat is van belang bij aandoeningen waarbij het longweefsel stug (fibrose) of juist slap is (emfyseem). ■ **Figuur 11.11** toont druk-volumecurven die zijn opgenomen bij heel langzaam in- en uitademen over de vitale capaciteit. Hoewel de uitademingscurve niet samenvalt met de inademiningscurve, is de verkregen curve ongeveer gelijk aan de rekingscurve, de statische druk-volumecurve van de longen. Deze curve geeft het verband tussen de transpulmonale druk en het longvolume terwijl er niet wordt geademd (statische curve). De compliantie, $\Delta V/\Delta p$, is af te lezen van de helling ter hoogte van het ademvolume, aangegeven door de streeplijn in de kleine lussen.

Dynamische druk-volumecurven

Dynamische druk-volumecurven worden gemaakt door tijdens ademen gelijktijdig de intrapleurale druk en het ademvolume te meten. De intrapleurale druk is gelijk aan die in de slokdarm en kan worden gemeten via een katheter in de slokdarm. Bij deze gelijktijdige meting ontstaat een lus of ovaal (■ **fig. 11.12**). Laten we eens kijken hoe die figuur is te lezen.

De kleine (groene) lus ontstaat bij een rustige ademhaling met een ademvolume van 0,5 L. Lus B, de brede lus (blauw), is de registratie bij een hogere ademfrequentie, maar hetzelfde ademvolume. De invloed van de luchtwegweerstand is groter dan bij een rustige ademhaling. Lus C (rood) ontstaat bij een diepe ademhaling met een ademvolume van 1 L.