

# Denk eraan te ademen

## Vraag

In basis open-water lessen, wordt aan duikers gezegd "nooit hun adem in te houden", uit angst voor longverwondingen als gevolg van het uitzetten van samengeperst gas tijdens de opstijging. Verder wordt aan de studenten verteld dat het gevaarlijkste deel van de klim het dichtst bij het oppervlak is. Waarom is dit? Wat is het werkelijke mechanisme waardoor de longen worden verwond door uitzettend gas? Scheuren ze daadwerkelijk? Aangezien de longen zijn omgeven door een met vloeistof gevulde zak, waar vindt de uitéénzetting plaats? Is er een lege ruimte tussen de longen, de zak, en de rest van het lichaam? Tot slot, waarom precies zou het laatste stukje van de klim gevaarlijker zijn dan, laten we zeggen, dezelfde verticale afstand maar dan veel dieper? Verandert de omgevingsdruk niet net zo veel tussen de 60 en 30 meter als het doet tussen 30 meter en het oppervlak?

## Antwoord

Verwondingen en longexpansie kunnen de meest dramatische en levensbedreigende noodgevallen zijn in duiken. In het algemeen, zijn ze het gevolg van een te grote longinflatie als gevolg van het pathologisch vastzetten van lucht (longziekte) of van het inhouden van de ademhaling tijdens de opstijging. Een goed begrip van de longanatomie is essentieel om de bijbehorende risico's te begrijpen. De belangrijkste bronchiën vertakken zich tot steeds kleiner wordende luchtwegen, de bronchioli, en blijven vertakken en verminderen in omvang totdat ze de respiratoire bronchioli vormen, die eindigen in de longblaasjes. De longblaasjes zijn de belangrijkste functionele eenheid van de luchtwegen waar de gasuitwisseling plaatsvindt. Deze kwetsbare longblaasjes worden omgeven door een delicaat membraan dat slechts één tot twee cellagen dik is en wordt omsloten door een netwerk van kleine bloedvaten. Wanneer onze longen worden blootgesteld aan de atmosferische druk op zeeniveau, bevinden ze zich in een toestand van evenwicht als we in- en uitademen. Lichte drukveranderingen treden op als we van hoogte veranderen, maar het gelijk maken van de druk binnen en buiten de long is een passieve en onopvallende gebeurtenis bij elke ademhaling. Tijdens de afdaling in het water, hebben alle gashoudende ruimtes in het lichaam de neiging te krimpen als de druk rond het lichaam verhoogt, bijvoorbeeld het longvolume van een apneïst wordt kleiner met de afdaling in de waterkolom. Omdat de duiker door de ademautomaat voorzien wordt met ademgas aan omgevingsdruk, komen hogere concentraties van ademgas in de longen en wordt zo de vermindering in longhoeveelheid die normaal gezien zou plaatsvinden, voorkomen. In de omgekeerde situatie, als we onze adem zouden inhouden tijdens het opstijgen, zouden de longen geleidelijk aan in volume toenemen tot de elasticiteitsgrens van de alveoli wordt overschreden en longbeschadiging optreedt. Dit dwingt het gas in één van de drie locaties:

1. de ruimte in de borstholte (pleurale ruimte), een aandoening bekend als pneumothorax ;
2. de weefselvlakken in de longen zelf (tussenruimte), vanwaar het zich naar de ruimte rond het hart, de nekweefsels en het strottenhoofd kan verplaatsen (mediastinale emfyseem), of
3. het bloed.

In deze laatste aandoening (arteriële gas embolie, of AGE), kunnen gasbellen zich van de longhaartvaten via de longaders naar de linkerkant van het hart verplaatsen, en vervolgens naar de arteria carotis of basilaire slagaders (cerebrale arteriële gas embolie, of CAGE). Hoewel deze verklaring redelijk lijkt, is ze niet volledig bevredigend. Aangezien het longweefsel zeer meegaand is, zou men verwachten dat het interstitium van de longen en de vaten daarin, worden onderworpen aan dezelfde drukverhoging als de

alveoli. Men kan daarom verwachten dat de vaten instorten, waardoor het binnenkomen van gas wordt vermeden. Waarschijnlijk komt gas de bloedvaten binnen vanuit de "hoeken" van de longen - bijvoorbeeld tussen de longen en het mediastinum, waarbij drukverschillen een ontwrichting (scheuren) kan veroorzaken, waardoor extra alveolair gas kan binnenkomen. Het is belangrijk op te merken dat een oppervlakkige opstijging van vier voet in zeewater (fsw)/ 1,2 meter in zeewater (msw) met de adem ingehouden, voldoende kan zijn om de alveoli zakken te doen scheuren, waardoor de longen scheuren en één van deze drie aandoeningen kan voorkomen. Voor een vaste hoeveelheid gas, wordt de verhouding tussen het volume en de externe druk door de wet van Boyle voorgeschreven.

In het kort, de Ierse natuurkundige / scheikundige Robert Boyle ontdekte dat bij een constante temperatuur en gewicht, het volume van een gas omgekeerd evenredig is met de druk van dat gas. Wanneer de druk wordt verdubbeld, wordt het volume verminderd tot de helft van het oorspronkelijke volume. Omgekeerd, wanneer de druk wordt verlaagd met de helft, verdubbelt het volume. Voor een duiker op 15 fsw/4.6 msw, is de totale druk op zijn lichaam 1,5 atmosfeer (één atmosfeer aan het oppervlak, plus een extra 0,5 atmosfeer uitgeoefend door de waterkolom). Een plotselinge stijging naar de oppervlakte zou daarom resulteren in een drukverlaging van 30 procent, en uitgaande van een meegaande borstwand, in een volumestijging van 50 procent. Longbeschadiging kan dus veroorzaakt worden. De werkelijke veranderingen in volume kunnen minder zijn dan dit door het effect van de omringende borstwand die stijfheid en bescherming aan de longen verschaft. Indien dezelfde verticale verandering plaatsvond op een diepte van 66 fsw/20msw, zou de 0,5 atmosfeer diepteverandering slechts een drukverlaging van 16 procent en een toename in het longvolume van 20 procent veroorzaken en zou minder waarschijnlijk kunnen leiden tot longbeschadiging. De wet van Boyle verklaart dus waarom abrupte diepteveranderingen in ondiep water, veel gevaarlijker zijn dan vergelijkbare diepteveranderingen in diep water.