

# Position Paper Duiken bij Longaandoeningen

Sectie longfysiologie & duikgeneeskunde NVALT

5

## Waar gaat deze position paper over?

De position paper richt zich op wat volgens de huidige maatstaven de beste adviezen zijn voor longpatiënten met een wens om te duiken. In de richtlijn komen de volgende onderwerpen aan de orde:

10

- Longfysiologische achtergrond
- Duiken bij specifieke longaandoeningen
  - COPD
  - Astma
  - ILD
  - (post) infectieus
  - Pleuraal/pneumothorax
  - Slaapgerelateerde aandoeningen

15

## Voor wie is deze position paper bedoeld?

Deze position paper is bestemd voor alle zorgverleners die betrokken zijn bij zorg voor longpatiënten met een wens te duiken. Beroepsduikers vallen buiten beschouwing van deze position paper.

20

## Hoe is deze position paper tot stand gekomen?

Het initiatief voor deze richtlijn is afkomstig van de Nederlandse Vereniging van Artsen voor Longziekten en Tuberculose (NVALT). De richtlijn wordt als onderdeel van de sectie longfysiologie onderhouden. De eerste versie dateert van 15/2/2021.

25

## Auteurs

Drs. Maarten Ruinemans, longarts, Ziekenhuisgroep Twente, Almelo/Hengelo

Dr. Martijn de Kruif, longarts, Zuyderland Medisch Centrum, Heerlen

30

Drs. Linda Moonen, longarts, Rijnstate Ziekenhuis, Arnhem

Drs. Iris Poleé, longarts in opleiding, Zuyderland Medisch Centrum, Heerlen

## Inhoud

|    |                                                                              |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------|----|
|    | 1. Algemeen.....                                                             | 4  |
|    | 1.1 Inleiding .....                                                          | 4  |
|    | 1.2 Duiken.....                                                              | 4  |
| 5  | 1.3 Longfysiologie bij duiken .....                                          | 5  |
|    | Drukverandering.....                                                         | 5  |
|    | Volumeverandering.....                                                       | 5  |
|    | Gas dichtheid verandering .....                                              | 5  |
|    | Partiële gasdruk verandering .....                                           | 5  |
| 10 | 1.4 Ziektebeelden bij duiken .....                                           | 6  |
|    | Barotrauma .....                                                             | 6  |
|    | Decompressieziekte .....                                                     | 6  |
|    | Overige aandoeningen .....                                                   | 6  |
|    | Pulmonale risico's.....                                                      | 6  |
| 15 | 1.5 Duiken en afwijkingen bij longfunctie .....                              | 7  |
|    | Overwegingen van de werkgroep .....                                          | 8  |
|    | Aanbevelingen .....                                                          | 8  |
|    | 1.6 Duiken en afwijkingen bij beeldvorming.....                              | 9  |
|    | Screening met beeldvorming bij duikers zonder pulmonaal lijden.....          | 9  |
| 20 | Screening met beeldvorming bij duikers met (mogelijk) pulmonaal lijden ..... | 9  |
|    | Afwijkingen bij beeldvorming.....                                            | 10 |
|    | Aanbevelingen .....                                                          | 11 |
|    | 2. Duiken bij obstructieve longziekten .....                                 | 13 |
|    | 2.1 Duiken bij COPD.....                                                     | 13 |
| 25 | Aanbevelingen .....                                                          | 14 |
|    | 2.2 Duiken bij astma .....                                                   | 14 |
|    | Aanbevelingen .....                                                          | 15 |
|    | 3. Duiken bij non-obstructieve longziekten .....                             | 17 |
|    | 3.1 ILD / parenchymateuze longaandoeningen .....                             | 17 |
| 30 | Interstitiële longziekten.....                                               | 17 |
|    | Bleomycine .....                                                             | 17 |
|    | Aanbevelingen .....                                                          | 17 |
|    | 3.2 Duiken bij (post)infectieuze aandoeningen .....                          | 18 |
|    | Literatuur bij duiken en COVID-19 .....                                      | 18 |
| 35 | Persisterende CT afwijkingen na opname voor COVID-19 .....                   | 19 |
|    | Overwegingen van de werkgroep .....                                          | 19 |

|    |                                                                                            |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|    | Aanbevelingen .....                                                                        | 19 |
|    | 3.3 Duiken bij vasculaire aandoeningen.....                                                | 20 |
|    | Pulmonale hypertensie .....                                                                | 20 |
|    | Longembolie .....                                                                          | 20 |
| 5  | Antistolling .....                                                                         | 20 |
|    | Pulmonale arterioveneuze malformaties (PAVM's).....                                        | 21 |
|    | Cardiale rechts-links shunt .....                                                          | 21 |
|    | Aanbevelingen .....                                                                        | 21 |
|    | 3.4 Duiken bij pneumothorax/pleurale aandoeningen.....                                     | 21 |
| 10 | Primair spontane pneumothorax .....                                                        | 22 |
|    | Traumatische pneumothorax.....                                                             | 22 |
|    | Aanbevelingen .....                                                                        | 22 |
|    | 4. Duiken bij Obstructief en Centraal Slaapapneu en Obesitas Hypoventilatie Syndroom ..... | 23 |
|    | Aanbevelingen .....                                                                        | 23 |
| 15 | Lijst van aanbevelingen .....                                                              | 24 |
|    | Literatuur.....                                                                            | 27 |

# 1. Algemeen

## 1.1 Inleiding

Longartsen komen regelmatig in aanraking met patiënten met een wens om te duiken. Duiken gaat gepaard met grote drukverschillen en dit kan specifieke gevolgen hebben voor de longen. Daarom kan dit bij longaandoeningen extra invloed hebben op de duikveiligheid. De uiteindelijke beslissing of duiken verantwoord is ligt niet bij de longarts. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij gecertificeerde duikerartsen. De longarts kan hier met specialistische kennis over longaandoeningen wel een aanvullend adviserende rol spelen. Er is daardoor behoefte ontstaan aan ondersteuning van de longarts in deze adviserende rol.

Vanuit dit oogpunt werd deze position paper ontwikkeld onder auspiciën van de Sectie Longfysiologie van de Nederlandse Vereniging van Artsen voor Longziekten en Tuberculose (NVALT). De eerste position paper verscheen in 2021. In verband met voortdurend evoluerende kennis van zowel duikgeneeskunde als longaandoeningen wordt nu een herziening uitgebracht.

## 1.2 Duiken

Er zijn verschillende manieren om te duiken. De meest toegepaste vorm van duiken is SCUBA duiken (self-contained underwater breathing apparatus). In het vervolg van deze position paper zal om praktische redenen de term 'duiken' synoniem staan voor wat feitelijk alleen SCUBA duiken betreft. Deze methode werd geïntroduceerd in 1952 en men maakt hierbij gebruik van een gascontainer die ademhaling mogelijk maakt zonder contact met een gasvoorraad boven de wateroppervlakte. Andere vormen van duiken, zoals 'freediving' of snubaduiken vallen buiten bestek van deze position paper.

Gebruikelijk dragen SCUBA duikers een tank met 'perslucht' met zich mee op de rug. Er zijn verschillende vormen van perslucht. Reguliere gasmengsels bevatten 18-21% zuurstof, aangevuld met stikstof. Andere mengsels zijn bijvoorbeeld 'verrijkt zuurstof (nitrox)' met 32% of 36% zuurstof ter reductie van stikstof-intoxicatie (geassocieerd met decompressieziekte) maar met inherent verhoogd risico op zuurstof-intoxicatie (geassocieerd met neurotoxiciteit). De gas dichtheid kan worden verlaagd door gebruik te maken van mengsels met helium. Dit is een inert gas met laag moleculair gewicht. Dit vermindert de kans op intoxicaties maar is vaak ook duurder. Bij diepte >56 meter is toevoeging van helium noodzakelijk om de zuurstof concentratie te verlagen naar veilige waarden.<sup>3,4,5</sup>

Voor SCUBA duiken is certificatie voor de duiker verplicht. Certificatie wordt afgegeven door Stichting Nederlands Duikcentrum Certificatie Instelling (NDC-CI). Hiervoor is een medische verklaring een vereiste zoals afgegeven door duikerartsen na afweging van risico's af voor de gehele gezondheidssituatie. De focus bij deze beoordeling ligt op longgeneeskunde, cardiologie, KNO, neurologie en psychiatrie. Een duikerarts is een BIG geregistreerde arts (meestal bedrijfsarts, sportarts of huisarts) die een extra opleiding heeft gevolgd en certificatie heeft gekregen via het Nederlands Instituut Certificering Duiker Artsen (NICDA). Het NICDA beheert een overzicht van duikerartsen op [www.mijnduikerarts.nl](http://www.mijnduikerarts.nl).<sup>6</sup>

Er zijn verschillende registraties mogelijk voor duikerartsen. Bij level 1 opleiding volgt de arts een 'Medical Examiner of Divers (MED)' opleiding van tenminste 25 uur theorie en 3 uur praktijk. Men is dan bevoegd om basiskeuringen uit te voeren. Van deze artsen mogen in Nederland alleen bedrijfsartsen tevens beroepsduikers keuren (duikerarts A: alleen herkeuring; duikerarts B zowel eerste keuring als herkeuring). Bij level 2 opleiding gaat het om een 'Diving Medicine Physician (DMP)' opleiding van tenminste 80 uur inclusief training in een hyperbaar centrum. Men is dan tevens bevoegd om ernstige duikongevallen te behandelen en herkeuring te verrichten na een duikongeval. Een level 3 duikerarts is een duikerarts die als competent wordt beschouwd als manager, behandelaar en

wetenschapper bij een complex duikcentrum. Tenslotte is certificatie mogelijk als duikerarts D ('associated specialist'). Dit zijn medisch specialisten die geen basiskeuringen verrichten, maar keuringen en advisering binnen hun eigen specialisme verrichten, vaak op aanvraag van collegae.<sup>6</sup>

5

### 1.3 Longfysiologie bij duiken

De hyperbare omstandigheden tijdens het duiken kunnen leiden tot belangrijke problemen. Hierbij spelen fysiologische principes een rol zoals de wet van Boyle ( $P \times V = \text{constant}$ ) en de wet van Dalton (de totale gasdruk is de som van alle partiële gasdrukken).<sup>1</sup>

10

#### Drukverandering

Op zeeniveau is de luchtdruk gemiddeld 1 bar. Dit komt overeen met 10 Newton per  $\text{cm}^2$ . Bij duiken stijgt de druk op het lichaam bij iedere 10 meter daling met ongeveer 1 bar. Op 30 meter diepte is de druk op het lichaam dan 4 bar. Dit komt overeen met 40 Newton per  $\text{cm}^2$ , en bij een gemiddeld lichaam van 1,8  $\text{m}^2$  is dat een kracht van 720.000 Newton. Dat is ongeveer het gewicht van 72 personenauto's. Dat het menselijk weefsel deze drukken goed kan doorstaan, komt doordat de dichtheid van het menselijk lichaam vrijwel overeenkomt met de dichtheid van zeewater. De maximale diepte die menselijk weefsel kan verdragen zonder te imploderen is daardoor zeer groot. Bijvoorbeeld, de diepste duik tot nog toe met hulpmiddelen was 332 meter, verricht door Ahmed Gabr in de Rode Zee in 2014. Bij gezonken schepen kunnen stoffelijke overschotten op nog veel grotere dieptes intact worden aangetroffen. Een ander gevolg van de vrijwel vergelijkbare dichtheid van het menselijk lichaam en zeewater is dat de opwaartse kracht van het water de zwaartekracht bijna opheft. Hierdoor ervaart men een gevoel van gewichtloosheid, ondanks de verhoogde omgevingsdruk.

15

20

#### 25 Volumeverandering

In tegenstelling tot bij vaste weefsels, treedt bij luchthoudende weefsels onder water wel een significante volumeverandering op. Bij 10 meter diepte bijvoorbeeld zal de omgevingsdruk van 1 naar 2 bar stijgen waardoor een verdubbeling van de partiële gasdrukken optreedt van bijvoorbeeld  $pO_2$  en  $pN_2$  (wet van Dalton), terwijl het volume van het gas daar gehalveerd is (wet van Boyle). De grootste volumeveranderingen treden net onder de oppervlakte op. Immers, van -20 naar -10 meter stijgen, betekent van 3 bar naar 2 bar omgevingsdruk: het volume van gas neemt 50% toe. Van -10 meter naar oppervlakte stijgen, betekent van 2 bar naar 1 bar omgevingsdruk: het volume van gas neemt 100% toe. De teugvolumes van de duiker zullen niet veranderen op deze diepte. Er zal dan eenzelfde volume uit de SCUBA tank geademd worden maar met een hogere gasdensiteit. Bij het opstijgen van 10 meter diepte naar de oppervlakte zet dit gasvolume echter 100% uit in alle lucht houdende ruimten (longen en luchtwegen, darmen, KNO gebied). Het is dus belangrijk dat het overschot aan volume in de long (en alle andere gashoudende ruimten) vrij kan worden uitgeademd gedurende opstijgen in het water.

30

35

#### Gas dichtheid verandering

De dichtheid van elk gasmengsel neemt proportioneel toe met de druk. Bij toename van dichtheid neemt de weerstand tijdens ademhalen toe. Wanneer een gasmengsel wordt geademd onder een omgevingsdruk van 4 bar zoals op 30 meter diepte, is de dichtheid van dit mengsel 4 maal groter dan op zeeniveau. Dit heeft een negatieve invloed op de longfunctie. Bij 4 bar is de FEV1 op slechts 50% van de waarde op zeeniveau.

40

45

#### Partiële gasdruk verandering

Naast de volume- en dichtheid veranderingen van gas zijn ook de veranderingen in partiële gasdrukken belangrijk. Partiële zuurstofdrukken hoger dan 200 kPa (=2 bar) zijn neurotoxisch en kunnen insulteren en bewustzijnsverlies geven. Daarom wordt een veiligheidsmarge gebruikt bij duiken waarbij doorgaans een maximaal toegestane partiële zuurstofdruk van 140 kPa (1,4 bar) gehanteerd wordt.

50

## 1.4 Ziektebeelden bij duiken

### Barotrauma

Elke vorm van beschadiging van het longparenchym, lage of hoge luchtwegobstructie geeft een theoretisch verhoogd risico op pulmonaal barotrauma door distensie van het parenchym. Dit barotrauma kan zich uiten in subcutaan en mediastinaal emfyseem, (spannings-) pneumothorax en arteriële gasembolie. Pre-existente longschade is hierbij een van de grootste risicofactoren voor een pulmonaal barotrauma. Ook speelt de hoogte van de druk een rol. Experimenteel onderzoek bij lichamen van overleden mensen op zeeniveau suggereerde dat intra-tracheale drukken van 10kPa (=0,01 bar) al tot longschade zouden kunnen leiden.<sup>7</sup> Bij SCUBA duiken zijn de drukken doorgaans echter vele malen hoger. Bij 30 meter diepte dient de druk 4 bar te zijn om de omgevingsdruk te kunnen weerstaan. Een SCUBA tank kan doorgaans tot 15 bar monddruk genereren. Dit is dan nog steeds een fractie van de daadwerkelijke druk in een SCUBA tank zelf, die gebruikelijk ongeveer 200 bar bedraagt.

Barotrauma kan voorkomen in alle luchthoudende weefsels. Daarbij komt barotrauma van de oren of sinussen relatief vaak voor. Een pulmonaal barotrauma is zeldzamer en heeft een incidentie van 1-7 per 100.000 duiken.<sup>8-10</sup> Incidentiecijfers zijn afhankelijk van verschillende duikomstandigheden zoals recreatief versus beroepsmatig, het type inhalatie lucht of een noodopstijging. Er wordt geschat dat pulmonaal barotrauma voorkomt bij 13-24% van overledenen bij duiken.<sup>11</sup> In 2016 was het aantal overledenen wereldwijd aan duikongevallen 169.<sup>12</sup> Het aantal overledenen wereldwijd aan pulmonaal barotrauma in 2016 kan daarmee geschat worden op 22-41 overledenen.

### Decompressieziekte

Stikstofgas lost onder hyperbare omstandigheden op in humaan weefsel (Wet van Henry). Deze relatie is diepte- en tijdsafhankelijk. Hoe langer en hoe dieper men onder water blijft, hoe meer het weefsel verzadigd raakt met stikstof tot een maximum voor die diepte. Tijdens opstijgen (decompressiefase) zal het opgeloste stikstof als gas uit oplossing komen. Normaliter zijn deze stikstofbellen asymptomatisch en zullen d.m.v. diffusie in het longvaatbed oplossen. Een te grote hoeveelheid stikstofbellen in de arteriële circulatie (bijvoorbeeld door een shunt) kan leiden tot decompressieziekte.<sup>13,14</sup> Klachten bij deze multisysteemaandoening zijn afhankelijk van de hoeveelheid en locatie van de stikstofbellen en kunnen variëren van huid- en gewrichtsklachten tot levensbedreigende neurologische of cardiopulmonale schade.

### Overige aandoeningen

Duiken kan verder nog tot een scala aan zeldzame pulmonale ziektebeelden leiden. Longoedeem ("immersion pulmonary edema; IPE") kan ontstaan door verhoogde druk op het capillaire vaatbed en is geassocieerd met pre-existente hartziekte, oudere leeftijd, vrouwelijk geslacht en koud water.<sup>15</sup> Ook een diafragmaruptuur is beschreven.<sup>16</sup>

### Pulmonale risico's

Om de grote verschillen in omgevingsdruk, volume en gasdensiteit op te kunnen vangen is een goede functie van verschillende organen noodzakelijk. Dit geldt in het bijzonder voor de long.<sup>17</sup> Omdat de long het grootste volume aan gas heeft, is de long extra kwetsbaar voor barotrauma. Verder is gaswisseling de belangrijkste functie van de long, en deze functie wordt beperkt door de grotere gasdensiteit op diepte. Bovendien zijn de opname en uitscheiding van stikstof afhankelijk van de ventilatie en daarmee medebepalend voor het risico op decompressieziekte.<sup>14</sup>

Fysiologische omstandigheden die bij SCUBA duiken een potentiële bedreiging voor de duiker en long zijn:

1. Verhoogde  $\dot{V}O_2$  door Inspanning, risico uitputting onderwater.
2. Toegenomen ventilatie door inspanning en stress.

3. Verhoogde trans pulmonaal druk.
4. Toegenomen densiteit van de ingeademde lucht.
5. Toegenomen bloedvolume in de long met als gevolg verminderde compliantie.
6. Snel optredende intrapulmonale druk en volume -schommelingen.
- 5 7. Afkoeling en uitdroging van de luchtwegen.

Vanwege deze zeer specifieke omstandigheden gedurende het duiken dient de primaire medische keuring van duikers altijd te worden verricht door hiervoor gecertificeerde duikerartsen. Specifieke respiratoire vragen ten aanzien van keuring of post-ongeval analyse worden geanalyseerd door -of  
 10 overlegd met- een arts met ervaring/certificering op het gebied van duikgeneeskunde. Bij longaandoeningen kan de longarts een adviserende rol hebben.

### 1.5 Duiken en afwijkingen bij longfunctie

15 Longfunctieonderzoek wordt in internationale richtlijnen beschouwd als een vereist routine onderdeel van de duikerskeuring. Dit is voornamelijk bedoeld als screeningsinstrument. Bij een afwijkende longfunctie dient verwezen te worden naar de huisarts of naar de longspecialist.

20 Wat als een afwijkende longfunctie dient te worden beschouwd is slechts matig gedefinieerd en/of onderbouwd. In de richtlijn Preventief Duikmedisch Onderzoek 2017 van de Nederlandse vereniging voor duikgeneeskunde worden geen afkapwaardes gegeven voor de definitie van een afwijkende longfunctie.

25 Internationaal, bijvoorbeeld door de toonaangevende European Diving Technical Committee, wordt meestal gerefereerd aan de richtlijn van de British Thoracic Society uit 2003.<sup>5</sup> In deze richtlijn wordt geadviseerd op basis van Level C bewijs dat FEV1 en PEF beide >80% dienen te zijn en de FEV1/FVC ratio >70%. Dit werd in deze richtlijn niet onderbouwd door studies bij duikers. De aanbevelingen berusten voornamelijk op extrapolatie van afkapwaardes bij obstructieve longziektes in die tijd.

30 In Nederland staat de afkapwaarde FEV1/VC <70% al lang ter discussie. De afkapwaarde werd in het verleden wel gehanteerd maar inmiddels is bij veel ziektebeelden de vaste afkapwaarde van 0.70 komen te vervallen. In de Nederlandse praktijk wordt aangegeven of een patiënt onder de 5e percentiel zit door weergave van de bijpassende Z-score < -1,64 of de Lower Limit of Normal (LLN), welke wetenschappelijk meer solide onderbouwd is dan de traditionele afkapwaarde <70%. Men dient  
 35 ook in acht te nemen dat bij gezonde jonge personen soms spirometrische waarden worden gevonden van 115-120% voorspelde waarden voor de VC. Bij een normale waarde van de FEV1 komt dan de ratio FEV1/VC geflatteerd laag uit (en onder de 70%) zonder dat er sprake is van een obstructie. Onderzoek uit Amsterdam toonde bovendien aan dat gebruik van de Z-score tot een reductie leidt van onnodig  
 40 gebleken verwijzingen naar reguliere geneeskunde.<sup>18</sup>

Los van de richtlijnen leert diepere bestudering van de literatuur dat er zeer beperkt literatuur beschikbaar is. Er is geen direct prospectief onderzoek beschikbaar dat de voorspellende waarde van longfunctieparameters beschrijft voor het bepalen van het risico op duik-morbiditeit en -mortaliteit. In de literatuur zijn wel enkele andere studies te vinden:

- 45 - Colebatch et al. vergeleek in 1991 longfunctie retrospectief tussen een groep van 14 duikers met bevestigd barotrauma versus 34 niet-rokers en 10 rokende duikers.<sup>19</sup> Longvolumina TLC en FEV1 verschilden niet, maar in de barotrauma-groep waren aanwijzingen voor kleinere compliantie. De auteurs concludeerden dat stijvere luchtwegen mogelijk het risico verhogen op barotrauma van het alveolaire weefsel. Er werden echter ook verschillen in compliantie gevonden tussen de rokers  
 50 en gezonde duikers.

- Bij een retrospectieve analyse uit 1999 van de Royal Navy van 22 jaar onderzeeër- ontsnappings-oefeningen (n = 115.090) werden 10 gevallen van barotrauma geconstateerd.<sup>20</sup> Bij alle patiënten werd een lage FVC gevonden en een significante associatie tussen lagere FVC en barotrauma in deze groep (p< 0.01). Deze associatie was er niet met de FEV1/FVC ratio. Hierbij moet worden opgemerkt dat de stijgsnelheid bij dergelijke ontsnappingsoefeningen veel hoger ligt dan bij reguliere duikers met daarom een hogere kans op long – overdrukletsels.
- In een andere serie patiënten met barotrauma (n=13) uit 1997 die werden vergeleken met patiënten met decompressieziekte (n=15) vond Tetzlaff bij beschikbare flow volume curve voor barotrauma een significant verminderde MEF50 en MEF25 ten opzichte van de decompressieziekte patiënten.<sup>21</sup> Echter, in 4 van de 13 gevallen werd bij aanvullende beeldvorming cysten of blebs gevonden als verklaring voor barotrauma.
- Loddé verdeelde in 2023 15 beroepsduikers in een groep met normale en verlaagde diffusie (DLCO).<sup>22</sup> Bij alle duikers werden met cardiale echografie VGE (Vascular Gas Emboli) aangetroffen, maar bij de duikers met verlaagde DLCO waren dit er beduidend meer en trad de piek op na 60 minuten ipv na 30 minuten. Geen van de deelnemers kreeg last van decompressieziekte.
- Van Hulst onderzocht in 2024 een groep van 78 beroepsduikers naar aanleiding van enkele duikongevallen en een eerder voorgestelde theorie dat bij grotere longvolumina (FVC >120%) vaker barotrauma kon voorkomen.<sup>23</sup> HRCT screening toonde dat de prevalentie van structurele longafwijkingen met 11,5% niet heel anders was dan bij eerder onderzoek in andere populaties.

### Overwegingen van de werkgroep

Er is aldus onvoldoende ondersteuning in de literatuur te vinden dat specifieke longfunctie parameters voorspellend zijn voor duiken gerelateerd risico. Toch wordt longfunctie onderzoek wereldwijd in protocollen geadviseerd voor screening voor fitheid voor duiken. Daardoor zijn er ethische barrières opgeworpen om prospectief onderzoek te doen bij patiënten met afwijkende longfunctie. Een interessante ontwikkeling in dit kader is de opkomst van wearables.<sup>24</sup> Mogelijk kan met (onderwater) monitoring van vitale parameters toch studie plaatsvinden bij deelnemers die anders op voorhand uitgesloten waren.

Tenslotte is er de vraag of duiken zelf op den duur invloed heeft op longfunctieparameters. Hiervoor is meer literatuur beschikbaar, waarbij de conclusie veelal luidt dat SCUBA duiken niet geassocieerd is met negatieve lange termijn effecten op de longfunctie.<sup>25,26</sup> Hierbij geldt als kanttekening dat bij freediven wel associaties met negatieve effecten op de longfunctie zijn gevonden.

### Aanbevelingen

#### Aanbeveling 1.5.1

Spirometrie is een waardevolle toevoeging aan screening voor fitheid om te duiken maar de longfunctiewaardes mogen op zichzelf geen uitsluitsel geven voor fitheid om te duiken.

#### Aanbeveling 1.5.2

Bij afwijkende longfunctie dient risicobeoordeling door een deskundige arts plaats te vinden die de waarden in de juiste context kan plaatsen en kan beoordelen of er sprake is van een eventueel verhoogd risico voor duiken.

#### Aanbeveling 1.5.3

Voor de afkapwaarde voor een obstructieve longfunctie geldt: FEV1/FVC met Z-score <-1,64 of lager dan de Lower Limit of Normal (LLN).



## 1.6 Duiken en afwijkingen bij beeldvorming

### Screening met beeldvorming bij duikers zonder pulmonaal lijden

Bij duikkeuringen wordt verschillend omgegaan met het toepassen van beeldvorming voor screening op structurele longafwijkingen. Volgens de BTS richtlijn uit 2003 werd routinematig screenen met een X-thorax bij asymptomatische duikers niet zinvol geacht.<sup>5</sup> Wel werd geadviseerd om een X-thorax te verrichten bij iedereen die bekend is met aanwijzingen voor (doorgemaakt) pulmonaal lijden.

De kwaliteit van screening kan mogelijk verbeterd worden door het toepassen van computed tomography (CT) onderzoek in plaats van X-thorax. De CT-thorax heeft een betere sensitiviteit voor het diagnosticeren van structurele longafwijkingen. Bij een Nederlandse populatie van jonge volwassenen waarbij longembolie werd uitgesloten (n=836) werd met CT thorax een prevalentie van 7.2% asymptomatische bullae gevonden.<sup>27</sup> Voorspellende factoren waren oudere leeftijd, roken en mannelijk geslacht. Bij onderzoek van 130 post-mortem CT's werd een hoger percentage vermeld van 33,8%.<sup>28</sup> Vanwege de hogere sensitiviteit van CT thorax wordt deze methode van beeldvorming regelmatig geadviseerd bij beroepsduikers.<sup>29,30</sup> Hierbij wordt opgemerkt dat CT thorax voor recreanten niet kosten effectief is ter voorkoming van barotrauma.

### Screening met beeldvorming bij duikers met (mogelijk) pulmonaal lijden

In de BTS richtlijn worden aanvullende overwegingen geadviseerd bij status na pneumothorax, pneumomediastinum, pulmonale chirurgie, astma, COPD, sarcoïdose, cystische fibrose, longfibrose, acute longontsteking of 'andere longziekte'. Deze terminologie is inmiddels deels verouderd en de adviezen per ziektebeeld zijn niet eenduidig.

Screening begint met een goede anamnese bij de duiker. Voor de vraag of er vervolgens beeldvorming gewenst is, is het primair van belang of een (doorgemaakte) longaandoening de kans verhoogt op het vinden van structurele longafwijkingen op CT thorax die geassocieerd zijn met barotrauma. Voor specifieke longklachten zoals kortademigheid of chronische hoest volstaat een X-thorax om significante pathologie uit te sluiten. Indien dan afwijkingen worden gevonden dient verdere analyse via een medisch behandelaar plaats te vinden (huisarts dan wel medisch specialist).

Als er bekend (doorgemaakt) pulmonaal lijden is, staat de vraag centraal tot hoe lang na de longaandoening nog afwijkingen verwacht kunnen worden. Bij bijvoorbeeld COPD, bronchiëctasieën en de meerderheid van interstitiële longaandoeningen is permanente longschade te verwachten, hetgeen in de meeste gevallen zal leiden tot een negatief duikadvies. Bij infecties is dit minder eenduidig. In de betreffende hoofdstukken in deze position paper worden de belangrijkste pulmonale aandoeningen behandeld.

Een bijzondere categorie is vroeggeboorte. Vroeggeboorte is op zich geen pulmonale aandoening, maar is wel geassocieerd met structurele longafwijkingen. Bij matig tot laat prematuren (geboren tussen 32e en 36e week na laatste menstruatie) is deze kans klein en is beeldvorming (CT thorax) alleen geïndiceerd bij een doorgemaakte klinische diagnose bronchopulmonale dysplasie (>28 dagen beademing postnataal). Verder volstaat bij pulmonale klachten op volwassen leeftijd bij deze groep bij een duikwens X-thorax niet en zal CT thorax met expiratiecoupes nodig zijn om eventuele afwijkingen op te sporen. Bij prematuren <32 weken is de kans op structurele longafwijkingen hoog en wordt CT thorax geadviseerd.<sup>31</sup>

De mening van de werkgroep betreffende screening met beeldvorming voor structurele longafwijkingen, is dat routinematig screenen met X-thorax bij asymptomatische duikers zonder pulmonale aandoeningen in de voorgeschiedenis niet zinvol is. Bij symptomatische duikers met pulmonale klachten zoals kortademigheid of chronische hoest, maar zonder pulmonale aandoening in de voorgeschiedenis, wordt minimaal een X-thorax geadviseerd. Indien er klinisch aanwijzingen zijn

voor specifieke longpathologie dient hier gericht onderzoek naar verricht te worden, ook bij een normale X-thorax. Bij asymptomatische duikers met een (doorgemaakte) parenchymateuze pulmonale aandoening in de voorgeschiedenis wordt HRCT thorax met expiratiecoupes geadviseerd.

- 5 Bij een duiker met status na vroeggeboorte <32 weken wordt HRCT thorax met expiratie coupes geadviseerd. Dit wordt tevens geadviseerd bij vroeggeboorte tussen 32 en 36 weken gecompliceerd door bronchopulmonale dysplasie en bij actuele pulmonale symptomen.

#### Afwijkingen bij beeldvorming

- 10 Als de screening een afwijking oplevert bij beeldvorming, dan dient er daarna een analyse plaats te vinden. Omdat analyse altijd een klinische context nodig heeft, wordt geadviseerd om dit door de eigen medisch behandelaar van de duiker te laten verrichten (huisarts dan wel medisch specialist).

- 15 In theorie kan elke structurele parenchymafwijking een risico geven op airtrapping en daarmee pulmonaal barotrauma. Hierbij is de theorie leidend dat in een afgesloten holte met lucht de druk bij opstijgen zodanig toeneemt dat het tot longschade en/of arteriële gasembolie kan leiden.

- 20 Een pulmonaal barotrauma is zeldzaam en er is weinig literatuur voorhanden over het risico op een barotrauma. Er is geen prospectief onderzoek beschikbaar dat de voorspellende waarde van beeldvormend onderzoek beschrijft voor het bepalen van het risico op pulmonaal barotrauma. Wel zijn er in het verleden in de literatuur een aantal case-reports en series verschenen van barotrauma waarbij er bij beeldvorming een parenchymateuze afwijking werd gevonden.

#### Studies:

- 25 • Mellem, et al. (1990)<sup>32</sup>: 23 jarige vrouw. 15 minuten na voltooiing van een duik op 18 meter neurologische symptomen die geduid werden bij een gasembolie. Op de CT werd een grote emfysemateuze bulla gevonden in de linker hemithorax. Revisie van een oude X-thorax gemaakt voor de duik toonde al een pre-existente bulla ter plaatse.
- 30 • Tetzlaff, Reuter, et al. (1996)<sup>33</sup>: mild barotrauma bij een 22 jarige gezonde man. Na een duik had de man klachten achteraf passend bij mediastinaal emfyseem, die de volgende dag zichtbaar werd op X-thorax. Op CT na 4 dagen was het pneumomediastinum geresorbeerd. Wel werd een kleine subpleurale bulla aangrenzend aan de linker ventrikel gevonden.
- 35 • Reuter, Tetzlaff, et al. (1997)<sup>30</sup>: 11 patiënten met pulmonaal barotrauma. Op X-thorax voorafgaand aan het duiken was bij niemand een afwijking gevonden. Op X-thorax na het duiken werden bij 6 patiënten geen afwijkingen gevonden, en bij de andere patiënten een pneumothorax op dag 0, een passagère mediastinaal luchtlijntje op dag 1, een kleine pneumothorax en rechter bovenkwab atelectase op dag 0, en een basale atelectase op dag 7. CT toonde bij alle patiënten blebs, cysten of atelectase. Bij deze case serie is een 22 jarige man inbegrepen die identiek lijkt te zijn aan de eerdere casusbeschrijving van Tetzlaff en Reuter uit 1996.<sup>33</sup>
- 40 • Tetzlaff, Reuter, et al. (1997)<sup>21</sup>: 15 casussen met pulmonaal barotrauma. Bij 10/15 patiënten was er sprake van een arteriële gasembolie, bij 1 patiënt pneumothorax, bij 1 patiënt mediastinaal emfyseem, bij 3 patiënten arteriële gasembolie én mediastinaal emfyseem. Röntgenfoto's van voor het ongeval toonden in geen van de duikers afwijkingen, en bij 5/15 een afwijking na het trauma. Bij 13/15 patiënten werd na het ongeval een Studie: CT-thorax verricht, waarbij er bij 5/13 (38%) patiënten cysten/bullae werden aangetoond (allen niet zichtbaar op X-thorax). Alle casussen uit deze serie lijken vrijwel identiek aan de casussen zoals beschreven in de serie van Reuter en Tetzlaff uit 1997.<sup>30</sup>
- 45 • Goffinet, et al. (2019)<sup>34</sup>: een 27 jarige man kreeg neurologische symptomen na een tweede introductieduik; dit werd geduid als een arteriële gasembolie. Op X-thorax achteraf werd een grote bulla geconstateerd.
- 50

Al met al valt op dat dezelfde casuïstiek van Tetzlaff en Reuter in meerdere artikelen gepubliceerd lijkt te zijn. Een andere moeilijkheid is dat bij de casussen van Mellem en Goffinet geen beeldvorming vooraf beschikbaar was. Tenslotte moet er rekening mee worden gehouden dat een arteriële gasembolie een diagnose per exclusionem is, gebaseerd op specifieke symptomen.

Na de duik werden bij 5/15 casussen van Tetzlaff en Reuter en bij beide casussen van de andere auteurs op X-thorax zichtbare afwijkingen gezien. Het is onzeker of deze afwijkingen voor de duik al zichtbaar zouden zijn geweest. Bij alle casussen van Tetzlaff waren van tevoren geen afwijkingen gezien op X-thorax. Het is goed om te realiseren dat de aanbeveling dat X-thorax bij screening slechts zeer beperkte waarde heeft feitelijk enkel is gebaseerd op de studie van Tetzlaff.<sup>21</sup>

Tenslotte dient er rekening mee te worden gehouden dat blebs en bullae in de hele bevolking voorkomen. Schattingen lopen uiteen van 7,2% bij jong volwassenen tot 40 jaar tot 33,8% bij post mortem CT's.<sup>27,28</sup> Bij de laatste studie werd geen verschil gevonden tussen verschillende leeftijdscategorieën. Door de grote spreiding van deze getallen is het moeilijk om in te schatten of het percentage van 38% bij Tetzlaff een verhoogde prevalentie weerspiegelt bij pulmonaal barotrauma.<sup>21</sup> Behalve cystes en/of bullae, wordt airtrapping gezien als geassocieerd met verhoogd risico op pulmonaal barotrauma. Dit is vooral op theoretische gronden. Er zijn geen studies naar airtrapping en duikrisico. Bovendien komt airtrapping zeer vaak voor. Met, et al. (2012) onderzocht de prevalentie van airtrapping bij een groep gezonde jonge mannen.<sup>35</sup> Airtrapping werd gezien in 56 van de 70 gevallen (80%) waarbij geen verschil werd gevonden tussen rokers en niet rokers.

Er zijn in de literatuur veel gevallen bekend waarbij duikers reeds vele succesvolle duiken hadden verricht en de structurele longafwijkingen pas later bekend werden.<sup>36,37</sup> Dit suggereert dat de incidentie van ernstig barotrauma bij structurele longafwijkingen waarschijnlijk laag is. Ernstig barotrauma kan ook na vele succesvolle duiken alsnog optreden.<sup>21</sup> Gezien de ernst hiervan wordt het vinden van een parenchymateuze longafwijking dan toch meestal geduid als een hoog risico voor de duiker en dit zal daarom meestal leiden tot afkeuring.<sup>37</sup>

De mening van de werkgroep is dat bij gevonden structurele longafwijkingen bij duikers deze in een klinische context dienen te worden geplaatst door de eigen medisch behandelaar. Essentiële elementen zijn het maken van een onderscheid tussen permanente versus mogelijk passagère afwijkingen en beoordeling of de afwijking tot een afgesloten luchtcompartiment kan leiden. Men dient er bij de inschatting van het duikrisico rekening mee te houden dat de incidentie van pulmonaal barotrauma weliswaar relatief laag is, maar dat een pulmonaal barotrauma een ernstig beloop kan hebben met een geschat aantal overledenen van enkele tientallen personen per jaar wereldwijd. Bij persisterende duikwens bij mogelijk passagère afwijkingen is herhaling van beeldvorming geïndiceerd na een ingeschatte termijn. Volledige resorptie van parenchymafwijkingen is doorgaans een vereiste voor goedkeuring voor duiken.

## Aanbevelingen

### Aanbeveling 1.6.1

Bij afwijkende beeldvorming dient beoordeling door een deskundige arts plaats te vinden die de waarden in juiste context kan plaatsen en kan beoordelen of er wel of niet sprake is van een bepaalde longziekte met verhoogd risico voor duiken.

### Aanbeveling 1.6.2

Verricht beeldvorming middels CT thorax (eventueel aangevuld met expiratiecoupes) bij alle duikers met een klinische relevante pulmonale voorgeschiedenis (zoals recidiverende pulmonale infecties, pulmonale maligniteit, radiatie op long, mamma of borstwand, bleomycinegebruik, sarcoïdose, (recente) pneumonie, thoraxchirurgie), fors roken (>10 pakjaar), doorgemaakt barotrauma of enige

verdenking op een parenchymateuze afwijking zoals emfyseem of interstitiële longziekte. Bij afwijkingen aan het parenchym dient dit als verhoogd risico te worden beschouwd voor het duiken.

**Aanbeveling 1.6.3**

- 5 Routinematig screenen met X-thorax bij asymptomatische duikers zonder pulmonale aandoeningen in de voorgeschiedenis is niet zinvol.

**Aanbeveling 1.6.4**

- 10 Bij symptomatische duikers met pulmonale klachten zoals kortademigheid of chronische hoest, maar zonder pulmonale aandoening in de voorgeschiedenis, wordt minimaal een X-thorax geadviseerd. Indien er klinisch aanwijzingen zijn voor specifieke longpathologie dient hier gericht onderzoek naar verricht te worden, ook bij een normale X-thorax.

**Aanbeveling 1.6.5**

- 15 Bij een duiker met status na vroeggeboorte <32 weken wordt HRCT thorax met expiratie coupes geadviseerd. Dit wordt tevens geadviseerd bij vroeggeboorte tussen 32 en 36 weken gecompliceerd door bronchopulmonale dysplasie en bij actuele pulmonale symptomen.

## 2. Duiken bij obstructieve longziekten

### 2.1 Duiken bij COPD

Ten aanzien van COPD en duiken is er slechts zeer beperkt literatuur aanwezig. Huidige standaarden zijn gebaseerd op pathofysiologische mechanismen en expert opinion.<sup>5,32,38</sup> De algemene huidige standaard is dat COPD een harde contra-indicatie is om te gaan duiken. De prevalentie van COPD is nog steeds stijgende en ook het aantal duikers met een leeftijd >40 jaar is inmiddels gestegen naar 57% (Amerikaanse data). Hiermee ontstaat meer behoefte aan goede data rondom COPD en duiken. Er bestaat discussie over de aan te houden afkapwaarde voor de diagnose van COPD, zie hiervoor hoofdstuk 1.5. De werkgroep adviseert de diagnose COPD te stellen op basis van een FEV1/FVC ratio onder de LLN.

De pathofysiologische redenatie is dat COPD wordt gekenmerkt door een obstructieve ventilatie die niet volledig reversibel is. De air trapping die ontstaat ten gevolge van de chronische bronchitis, bullae en/of emfyseem is de belangrijkste reden dat duiken gecontraïndiceerd is. Bij submersie ontstaan drukverschillen ten gevolge van de waterkolom boven het individu. Deze drukverschillen zijn in de eerste meters het grootst. Air trapping is, zoals de term al verklaard, vastzittende lucht. Bij ontstane air trapping op 10 meter diepte zal deze aan de oppervlakte 2x het volume gaan bevatten en derhalve een sterk verhoogd risico geven op barotrauma, met in ernstige gevallen zelfs een fatale afloop. Hetzelfde principe gaat op voor emfyseem en/of bullae.<sup>39</sup>

Er is slechts zeer weinig literatuur beschikbaar over duiken bij een afwijkende longfunctie met persisterende obstructie, aangezien deze populatie niet in aanmerking komt voor een duikcertificaat. In een case serie van K. Tetzlaff et al. worden 15 casus beschreven van duikers met pulmonaal barotrauma en vergeleken met 15 duikers met decompressieziekte zonder pulmonaal barotrauma.<sup>21</sup> Hierbij zijn longfunctieonderzoeken en X-thorax voor en na het duikongeval bekend. In 10/15 patiënten was er sprake van een arteriële luchtembolie, in 1 patiënt werd een pneumothorax geconstateerd, bij 1 patiënt was de diagnose mediastinaal emfyseem en bij 3 duikers was er sprake van een arteriële luchtembolie én mediastinaal emfyseem. Röntgenfoto's van voor het ongeval toonden in geen van de duikers afwijkingen en ook de longfunctie was bij geen van de patiënten obstructief (dan hadden ze ook niet mogen duiken). Wat wel opviel is dat de MEF<sub>50</sub> en MEF<sub>25</sub> statistisch significant lager waren voor het ongeval bij de patiënten met pulmonaal barotrauma dan bij de patiënten met decompressieziekte, wat suggereert dat een lagere MEF<sub>50</sub> en MEF<sub>25</sub> (zoals kan worden gezien bij obstructie van de kleine luchtwegen) een verhoogd risico geeft op pulmonaal barotrauma. Echter, deze meetwaarden zijn geen reguliere metingen met klinisch gedefinieerde afkapwaardes waardoor een afwijkende waarde met veel voorzichtigheid geïnterpreteerd moet worden.

De afgelopen jaren zijn de diagnoses pre-COPD en PRISm (Preserved Ratio Impaired Spirometry) erkend in de richtlijnen van ERS en GOLD.<sup>40,41</sup> Zowel pre-COPD, gedefinieerd als respiratoire symptomen, structurele longafwijkingen (zoals emfyseem of bullae) en/of fysiologische abnormaliteiten (zoals lage FEV1, gas trapping, hyperinflatie, verminderde diffusie of snel dalende FEV1), en PRISm, gedefinieerd als FEV1/FVC ratio >0.7 met FEV1 <80% predicted, zijn voornamelijk niet beschreven in case-reports over barotrauma bij duikers. Echter wordt bij zowel pre-COPD als PRISm meer airtrapping beschreven dan in gezonde individuen en wordt PRISm in rokers met centrilobulair emfyseem geassocieerd met air-trapping.<sup>42</sup> Op basis hiervan kan worden aangenomen dat ook duikers met pre-COPD of PRISm en verhoogd risico hebben op barotrauma, hoewel de ernst van het risico voornamelijk niet in te schatten is. Aanwezigheid van emfyseem of bullae bij radiologisch onderzoek bij duikers met pre-COPD of PRISm is, conform eerder beschreven in hoofdstuk 1.6 een contra-indicatie voor certificering. Verder onderzoek naar pre-COPD en PRISm is nodig om een inschatting te kunnen maken van de risico's op barotrauma.

## Aanbevelingen

### Aanbeveling 2.1.1

COPD is op theoretische gronden een absolute contra-indicatie voor duiken, onafhankelijk van de ernst, gezien het risico op airtrapping/barotrauma.

5

### Aanbeveling 2.1.2

De diagnose COPD wordt hierbij gesteld op basis van een FEV1/FVC onder de LLN.

### Aanbeveling 2.1.3

- 10 Verricht bij mensen met pre-COPD, PRISm of anderszins aanwijzingen bij longfunctieonderzoek voor kleine luchtwegziekte naast de standaard longfunctie ook een HRCT-thorax met expiratiecoupes ter beoordeling van airtrapping, emfyseem en bullae. In aanwezigheid van afwijkingen op CT is duiken gecontra-indiceerd.

15

## 2.2 Duiken bij astma

- 20 In het verleden werd astma altijd als een absolute contra-indicatie gezien voor duiken. Tijdens het duiken zijn er verschillende risicofactoren die kunnen leiden tot bronchospasme, namelijk koude en droge lucht, hyperventilatie, verhoogde gasdensiteit, inspanning en aspiratie van zout water. Een zeldzame oorzaak is contaminatie van de perslucht met pollen, waarvoor de duiker allergisch is.<sup>43,44</sup> Bronchospasme kan weer leiden tot airtrapping en geeft hierbij een verhoogd risico op een pulmonaal barotrauma, een potentieel levensbedreigende situatie.<sup>45-47</sup> Daarnaast kan bronchoconstrictie bij een toename van de ademweerstand en gasdensiteit op diepte een verhoogd risico op uitputting geven.

- 25 Inmiddels is duidelijk geworden op basis van epidemiologische onderzoeken onder recreatieve duikers, dat er wel degelijk patiënten met (een voorgeschiedenis van) astma actief duiken.<sup>48-50</sup> Een duidelijke inschatting maken ten aanzien van het risico op barotrauma bij astmatische duikers blijft lastig omdat er sprake is van retrospectief onderzoek met een selectie- en responsbias, en er gegevens ontbreken ten aanzien de medische voorgeschiedenis, longfuncties en/of medicatiegebruik. Soms gaat het hierbij ook om kleine groepen.<sup>51,52</sup> Helaas is er geen (verplichte) rapportage van duikongevallen wereldwijd, waardoor niet alle informatie voorhanden is om een duidelijk beeld te krijgen van deze risico's. Vanuit ethisch oogpunt zijn gerandomiseerde prospectieve onderzoeken niet mogelijk.

- 35 Volgens veel gebruikte richtlijnen van verschillende internationale duikorganisaties (UK DMC, BTS, SPUMS, UHMS) kan een geselecteerde groep astma patiënten nu wel goedgekeurd worden om te duiken, onder bepaalde voorwaarden.<sup>4,5,53,54</sup> De aanbevelingen bij deze internationale richtlijnen zijn: Patiënten met astma kunnen goedgekeurd worden voor het duiken mits er sprake is van:

- Goed gecontroleerd astma, zonder klachten.
- Een normale longfunctie is hierbij een vereiste, waarbij wordt aangehouden dat de FEV1, FVC, en PEF boven de 80% moeten zijn. Er mag geen sprake zijn van een obstructief gestoorde longfunctie, waarbij er in bovengenoemde richtlijnen een FEV1/FVC>70% wordt aangehouden. De SPUMS hanteert hierbij zelfs een FEV1/FVC>75%.
- Klachten mogen niet uitgelokt worden door kou, inspanning of emotie.
- Het advies is om niet te duiken als er symptomen zijn binnen 48 uur voor een duik of als de PEF onder de 10% gemeten wordt van de beste waarde (of er meer dan 20% diurnale variatie is). Monitoring van de piekflow 2x per dag wordt hierbij aangeraden.

- 50 Deze internationale richtlijnen lijken echter achter te lopen op een aantal nieuwe ontwikkelingen. In de Nederlandse praktijk is het om goed gefundeerde redenen gebruikelijk om voor de beoordeling van de longfunctie in tegenstelling tot de vaste afkapwaarde van 70% voor obstructie gebruik te maken van de LLN (zie ook paragraaf 1.5). Ook zijn in de loop der jaren de inzichten veranderd over astma.

Vanuit de sectie longfysiologie adviseren we daarom de aanbevelingen toe te passen op de Nederlandse situatie en de laatste richtlijnen met betrekking tot adequate ziektecontrole van astma. Hierbij kan goedkeuring voor duiken bij een patiënt met astma overwogen worden indien aan de onderstaande voorwaarden wordt voldaan (zie ook figuur 1):

- Er is sprake van een goed gecontroleerd astma:
  - o Asthma Control Questionnaire (ACQ-6)  $\leq 1$
  - o Er zijn geen exacerbaties geweest in het afgelopen jaar
  - o Patiënt heeft een normale longfunctie:
    - FEV1 en FVC  $\geq 80\%$
    - FEV1/FVC  $> LLN$
- Het advies is om niet te duiken bij gebruik van rescue medicatie  $\geq 2x$  per week en/of  $< 48$  uur voor de duik
- Het advies is om niet te duiken bij bronchospasme, die typisch uitgelokt wordt door kou of inspanning.

De waarde van provocatietesten bij de evaluatie van duikers met astma is in dit licht bezien nog onduidelijk. Hoewel er geen prospectieve data zijn die laten zien dat positieve of negatieve indirecte provocatietesten een verhoogd- of verlaagd risico geven op een barotrauma, stellen de verschillende duikorganisaties een negatieve indirecte provocatietest als vereiste criterium voor goedkeuring.

Er bestaan geen goede data over welke provocatietest hierbij het beste gebruikt kan worden. Er wordt geadviseerd om gebruik te maken van indirecte provocatietesten, waarbij soms een inspanningstest wordt geadviseerd (BTS, UK DMC), eucapnische hyperventilatie, droge lucht of provocatie met mannitol of hypertoon zout (SPUMS). De UHMS adviseert alleen een inspanningstest en geen provocatietest omdat deze onvoldoende gestandaardiseerd is om te interpreteren in de context van SCUBA duiken.

Ustrup, et al. onderzocht een algoritme om geschiktheid voor SCUBA duiken bij patiënten met astma te evalueren.<sup>55</sup> Een aantal duikers met een positieve provocatietest bleken na intensivering van hun behandeling en re-evaluatie nadien een negatieve provocatietest te hebben, waardoor ze geen absolute contra-indicatie voor duiken meer hadden. Dit kan betekenen dat opnieuw testen na intensiveren van de behandeling meerwaarde kan hebben, maar wat dit betekent ten aanzien van de veiligheid en risico's is echter nog niet goed onderzocht.

In de literatuur gepubliceerd sinds 2017 is er geen nieuw wetenschappelijk bewijs voorhanden om de adviezen ten aanzien van de risico's en evaluatie van duikers met astma verder te onderbouwen. Iedere duiker met astma is uniek en zal individueel beoordeeld moeten worden. Hierbij zal specifiek aandacht uitgaan naar klachten die typisch worden uitgelokt door kou of inspanning, en een inschatting van het risico hierop tijdens het duiken bij de duiker met astma. Daarnaast is het belangrijk dat de duiker zich bewust is van de potentiële risico's van astma bij duiken en het belang van adequate ziekte controle en monitoring hierbij, om de risico's zoveel mogelijk te beperken. Goede informatievoorziening en informed consent is hierbij essentieel.

## Aanbevelingen

### Aanbeveling 2.2.1

Goedkeuring voor duiken is te overwegen bij een patiënt met astma indien aan de onderstaande voorwaarden wordt voldaan (zie ook figuur 1):

- Er is sprake van een goed gecontroleerd astma:
  - o ACQ  $\leq 1$
  - o Er zijn geen exacerbaties geweest in het afgelopen jaar
  - o Patiënt heeft een normale longfunctie:



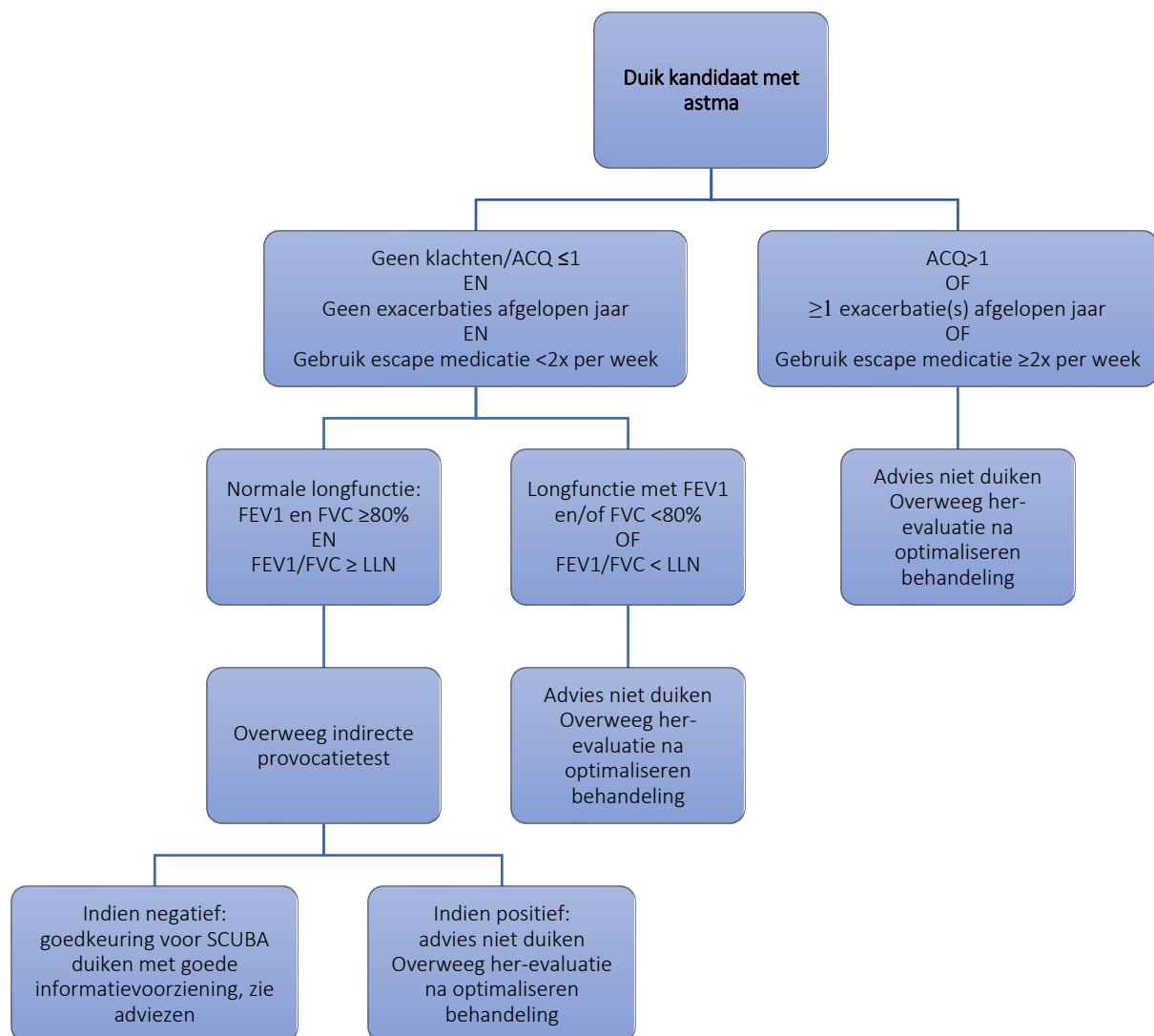
- FEV1 en FVC  $\geq 80\%$
- FEV1/FVC  $> LLN$
- Geen gebruik van rescue medicatie  $\geq 2x$  per week en/of  $< 48$  uur voor de duik
- Anamnestiche geen klachten van bronchospasme uitgelokt door kou of inspanning

### Aanbeveling 2.2.2

Het wordt aanbevolen om alle duikers met mogelijk verhoogd risico op astmaklachten bij een duik te testen met een indirecte provocatietest. Positieve indirecte provocatietest onder behandeling is reden tot afkeuren. Overweeg opnieuw te testen na optimalisatie van de behandeling.

### Aanbeveling 2.2.3

Informeer de duiker goed over de potentiële risico's bij duiken en astma en het belang van adequate ziektecontrole van de astma. Informeer een goedgekeurde duiker met astma erop dat de goedkeuring er op ieder moment van de tijd van uit gaat dat de duiker nog aan de bovengenoemde voorwaarden voldoet.



Figuur 1: algoritme duiken met astma



### 3. Duiken bij non-obstructieve longziekten

#### 3.1 ILD / parenchymateuze longaandoeningen

##### Interstitiële longziekten

- 5 Er zijn geen studies met wetenschappelijke onderbouwing omtrent de adviezen voor duiken met interstitiële longziekten (ILD). Vanuit theoretisch oogpunt zijn er echter een aantal redenen waarom duiken met een interstitiële longziekte tot problemen zou kunnen leiden, namelijk:
- Een restrictieve longfunctie waardoor de duiker een verminderde inspanningstolerantie heeft door verminderd ventilatoir vermogen;
  - 10 - Afgenomen compliance van de long, waardoor er een verhoogd risico zou kunnen zijn op een pulmonaal barotrauma;
  - Afgenomen diffusiecapaciteit, waardoor er een verhoogd risico is op hypoxemie en er een verhoogde kans op decompressieziekte door onvoldoende snel uitwassen van stikstof;
  - 15 - Bij sommige ILD kan er bijkomend luchtwegobstructie zijn, met airtrapping en ten gevolge daarvan een verhoogd risico op een pulmonaal barotrauma;
  - Bij sommige ILD kunnen er bullae en cysten voorkomen met een risico op airtrapping en ongelijkmatige ventilatie, wat een verhoogd risico op een pulmonaal barotrauma geeft.

Vanwege bovenstaande redenen wordt ILD als een absolute contra-indicatie beschouwd voor duiken.

20 Indien een patiënt een ILD alleen in de voorgeschiedenis heeft, bijvoorbeeld een sarcoïdose in remissie, kan goedkeuring voor het duiken overwogen worden. Voorwaarden hiervoor zijn dat er dan sprake is van een normale longfunctie en normaal longparenchym zonder aanwijzingen voor airtrapping op een HRCT met expiratie coupes.

##### 25 Bleomycine

Bleomycine is een medicament wat wordt gebruikt voor de behandeling van lymforetriculaire en testiculaire maligniteiten. Bleomycine kan als bijwerking een pneumonitis (al dan niet met fibrose) geven wat een contra-indicatie is voor het duiken.<sup>56</sup> Blootstelling aan een verhoogde FiO<sub>2</sub> na bleomycine therapie kan dit proces verergeren.<sup>57-60</sup> Hoe lang dit effect aanhoudt is onbekend. Omdat

30 duiken op diepte leidt tot verhoogde druk stijgt ook de partiële zuurstof spanning. Bij bleomycine blootstelling in het verleden kan dit tot pulmonale toxiciteit leiden. Er bestaat onder experts geen consensus over het wel of niet ontraden van duiken na blootstelling aan bleomycine. R. van Hulst (2011) heeft een algoritme ontwikkelt welke handvaten geeft over wanneer goedkeuring voor duiken zou kunnen worden overwogen.<sup>61</sup>

##### 35 Aanbevelingen

###### Aanbeveling 3.1.1

Patiënten met een interstitiële longziekte dienen te worden afgekeurd voor duiken

###### 40 Aanbeveling 3.1.2

Bij patiënten met een interstitiële longziekte in de voorgeschiedenis kan goedkeuring worden overwogen bij remissie (geconstateerd door een longarts) met normale longfunctie en normaal longparenchym, tenminste vastgesteld met HRCT met expiratiecoupes.

###### 45 Aanbeveling 3.1.3

Bij patiënten kan  $\geq 1$  jaar na bleomycine-behandeling goedkeuring worden overwogen voor het duiken, mits normale longfunctie, diffusie en HRCT scan. Hierbij dienen restricties ten aanzien van maximale pO<sub>2</sub> te worden gegeven conform het voorgestelde schema van v. Hulst et al. (zie literatuurverwijzing)

### 3.2 Duiken bij (post)infectieuze aandoeningen

Over (post)infectieuze longaandoeningen bij duiken waren er tot aan de COVID-19 epidemie maar beperkt adviezen beschikbaar. De BTS richtlijn uit 2003 vermeldt het advies om bij actieve tuberculose of cystische fibrose niet te duiken. Verder hanteren veel organisaties een algemeen advies om niet te duiken bij tekenen van een actieve luchtweginfectie. Dit advies is terecht vrijwel onomstreden.

Tijdens de COVID-19 pandemie verscheen er een handvol 'richtlijnen' die gebaseerd waren op voornamelijk expert opinion en die gezien moeten worden in het licht van de stand van zaken op dat specifieke moment tijdens de pandemie. Deze literatuur wordt daarom chronologisch besproken.

#### Literatuur bij duiken en COVID-19

In september 2020, ongeveer een half jaar na het begin van de COVID-19 pandemie, werd een 'richtlijn' van Sadler gepubliceerd.<sup>62</sup> Hierin werd geadviseerd dat iedereen met een doorgemaakte COVID-19 infectie een nieuwe medische keuring diende te krijgen alvorens te duiken (X-thorax, longfunctie, inspanningstest en bij afwijkingen op X-thorax ook een CT). Hiermee bleek in de praktijk dat Franse militaire duikers toen mediaan 45 dagen na positieve COVID-19 test weer konden gaan duiken.<sup>63</sup> Slechts 3% merkte toen nog lichte symptomen. Bij 29% bleken bij de keuring nog longfunctie afwijkingen te zijn en bij 14% nog longafwijkingen op de CT scan. Na 3 maanden waren alle afwijkingen bij alle 145 onderzochte duikers genormaliseerd.

In december 2020 verscheen van Antonis Ella en Mikael Genner een kort beschouwend artikel waarin de duur van de afwijkingen besproken werd.<sup>64</sup> Men concludeerde dat een maand na ogenschijnlijk herstel van COVID-19 waarschijnlijk onvoldoende was om zonder risico te kunnen duiken.

In mei 2021 werd een standpunt van de Nederlandse Vereniging voor Duikgeneeskunde gepubliceerd.<sup>65</sup> In een uitgebreid schema werd onder meer geadviseerd om bij asymptomatische COVID-19 infectie 2 weken niet te duiken, bij milde symptomen <3 maanden onderscheid te maken op basis van cardiovasculair risicoprofiel en dan tenminste 4 weken niet te duiken en bij verhoogd risicoprofiel medische keuring met spirometrie en ergometrie te verrichten, en bij matige ziekte 3-6 maanden niet duiken en altijd medische keuring inclusief een CT thorax.

In 2022 publiceerde Sadler een 'update' van de eerdere adviezen uit 2020.<sup>66</sup> In het nieuwe advies werd meer onderscheid gemaakt bij patiënten met milde ziekte. Bij milde ziekte, zonder cardiorespiratoire symptomen (dus alleen bij malaise, koorts en/of bovenste luchtweg klachten), werd geen nader onderzoek nodig geacht. Bij milde ziekte inclusief cardiorespiratoire symptomen zoals forse hoest (productief, slaap verstorend of medicatie behoevende), dyspnoe, hartkloppingen of pijn op de borst, werd tenminste spirometrie en X-thorax aangeraden. Bij ernstiger ziekte werd volledige keuring aangeraden. Het resultaat van deze werkwijze toonde in 2024 dat bij 112 duikers, 4 duikers werden afgekeurd en 4 duikers konden duiken met restricties.<sup>67</sup> Na een jaar kreeg 1 goedgekeurde duiker longoedeem en 1 goedgekeurde duiker decompressieziekte, terwijl deze laatste duiker toen ook opnieuw positief testte op COVID-19.

In oktober 2022 publiceerde de 'Aviation and Occupational Cardiology Taskforce of the European Association of Preventive Cardiology' een gedetailleerd schema voor algemene terugkeer naar het werk na doorgemaakte COVID-19.<sup>68</sup> Hierbij werd een schema gemaakt voor de werkgevers, waarbij asymptomatische patiënten op elk moment mochten terugkeren naar het werk zonder keuring; licht symptomatische patiënten gedurende 4 weken een opbouwschema kregen; en patiënten met ernstiger doorgemaakte COVID-19 een telefonische keuring bij de huisarts kregen met een stroomschema. Deze handleiding kreeg echter kritiek van Tetzlaff, omdat het schema niet voldoet voor duikers waar de omstandigheden extremer zijn dan bij de meeste andere beroepen.<sup>69</sup> Bovendien verscheen er in 2022 nog onderzoek uit Turkije waarbij 43 duikers met COVID-19 na 3 maanden werden onderzocht en bij 73% werden afwijkingen gevonden.<sup>70</sup> Na follow-up was dit nog maar 19%, maar het

is onduidelijk hoe lang deze follow-up was. De auteurs concludeerden dat het bij gevonden afwijkingen op de CT, het in ieder geval zinvol is om later nog een CT te herhalen.

#### Persisterende CT afwijkingen na opname voor COVID-19

5 Uit de hierboven genoemde opsomming blijkt dat restafwijkingen op de CT scan vaak de belangrijkste reden voor afkeuring zijn voor duiken na COVID-19. Het is al langer bekend dat bij pneumonie radiologische verbetering dikwijls achterblijft bij klinische verbetering.<sup>71</sup> Bij COVID-19 is veel onderzoek verricht hoe lang afwijkingen blijven bestaan. Bijna alle onderzoeken betreffen patiënten die een ziekenhuisopname hebben gehad voor COVID-19. De definitie wat een afwijking is, is niet eenduidig en varieert van ground glass tot tenminste 10% afwijkingen. Na 6 maanden varieerden de percentages restafwijking op CT van 24% bij 200 patiënten uit Oostenrijk tot 94% bij patiënten met ARDS uit India.<sup>72,73</sup> Verder zijn percentages genoemd van 64% bij 179 patiënten uit Spanje, 36% en 46% bij 271 en 728 patiënten uit China.<sup>74,75</sup> Tenslotte toonde een multicenter cohort uit Engeland een percentage van 11% na 6-9 maanden, echter bij dit onderzoek zijn missende data en de variabele follow up periode een probleem. Over nog langere termijn na opname voor COVID-19 worden percentages genoemd van 19% na anderhalf jaar bij de Oostenrijkse patiënten, 36% bij Chinese patiënten na 3 jaar en 6% bij Italiaanse patiënten na 2 jaar.<sup>72,75,76</sup> Risicofactoren voor persisterende longafwijkingen waren leeftijd, langere IC opname, afwijkingen op X-thorax, DLCO <80% en beademing in 2 artikelen.<sup>75,77</sup>

#### 20 Overwegingen van de werkgroep

De genoemde richtlijnen zijn voornamelijk gebaseerd op opinie van experts met relatief weinig bewijs. Het voornaamste bewijs dat zich in de loop der tijd ontwikkeld heeft betreft persisterende afwijkingen bij beeldvorming, maar de literatuur hierover beperkt zich voornamelijk tot opgenomen patiënten. Hierbij blijken de percentages zeer variabel en de duiding wordt verder bemoeilijkt door het ontbreken van een eenduidige definitie van afwijkingen op de CT. Bovendien dient men zich bij het beschouwen van deze literatuur voortdurend realiseren dat de huidige COVID-19 varianten die in omloop zijn minder virulent verlopen dan de varianten tijdens de pandemie.

Het lijkt daarom raadzaam om bij patiënten die opgenomen zijn geweest met COVID-19 en een duikwens hebben, de longarts om een individueel klinisch oordeel te vragen waarbij tenminste een CT scan wordt uitgevoerd. Bij patiënten met een verder ongecompliceerde opname en later opgeknapt beeldvorming zou dit advies na drie jaar kunnen komen te vervallen. Bij patiënten die op de Intensive Care waren opgenomen is de kans op persisterende afwijkingen dermate hoog, dat voor een duikadvies door de longarts geen verjaringstermijn zou moeten gelden.

30 Voor patiënten die geen opname hebben gehad lijken de adviezen van Sadler uit 2022 op dit moment de meest handzame adviezen.<sup>66</sup> Echter, ook deze adviezen gaan nog uit van ernstigere COVID-19 varianten dan welke momenteel circuleren en een aangepast beleid valt te verdedigen. Omdat dit echter geen tweedelijns patiënten betreft, valt dit buiten het mandaat van de longarts en dus van de werkgroep.

#### 40 Aanbevelingen

##### Aanbeveling 3.2.1

Maak bij patiënten die in het ziekenhuis opgenomen zijn geweest voor een pneumonie en een duikwens hebben, een risico inschatting voor duiken. Bij persisterende restafwijkingen op CT-thorax is duiken gecontra-indiceerd.

45

##### Aanbeveling 3.2.2

Restafwijkingen na een radiologisch bevestigde pneumonie kunnen tot 3 jaar na dato nog resorberen. Bij persisterende duikwens kan worden overwogen beeldvorming te herhalen.

##### 50 Aanbeveling 3.2.3

Bij patiënten met een nieuwe duikwens, die in het verleden waren opgenomen in het ziekenhuis voor een pneumonie, wordt het tot tenminste 3 jaar na opname aanbevolen om een medisch oordeel uit te laten brengen door de behandelend specialist, waarbij tenminste een CT thorax wordt verricht. Bij een IC-opname of anderszins gecompliceerd beloop, geldt voor dit advies geen verjaringstermijn.

5

### 3.3 Duiken bij vasculaire aandoeningen

#### Pulmonale hypertensie

10 Er is geen wetenschappelijke literatuur voorhanden om de risico's omtrent duiken bij patiënten met pulmonale hypertensie te onderbouwen. Op theoretische gronden zijn er echter voldoende bezwaren en potentiële risico's om pulmonale hypertensie als absolute contra-indicatie voor duiken te beschouwen.

- 15 • De verhoogde pulmonale druk en het verhoogde bloedvolume tijdens het duiken kunnen leiden tot een (extra) verhoogde afterload van de rechter ventrikel. Deze rechter ventrikel van patiënten met pulmonale hypertensie is vaak al onderhevig aan verhoogde drukbelasting, wat betekent dat de extra belasting tijdens het duiken tot acute decompensatie kan leiden.
- 20 • Pulmonale hypertensie kan gepaard gaan met een diffusiestoornis en verminderde zuurstofopnamecapaciteit. Dit verhoogt tijdens het duiken het risico op hypoxie. Tevens heeft de duiker mogelijk een verminderd maximaal inspanningsvermogen wat risico's met zich mee kan brengen omdat het van belang kan zijn onder de wisselende, en soms extreme omstandigheden tijdens het duiken goed te kunnen inspannen.
- Verminderde cardiac output kan tevens leiden tot een verminderd inspanningsvermogen.
- Er is een verhoogd risico op een shunt, wat weer een verhoogd risico kan geven op decompressieziekte.

25 Pulmonale hypertensie dient daarom als een contra-indicatie voor duiken beschouwd te worden.

#### Longembolie

30 Er is geen wetenschappelijk bewijs of onderbouwing dat duiken geassocieerd zou zijn met een verhoogd risico op een veneuze trombo-embolie (VTE).<sup>66,78</sup> Er is wel casuïstiek beschreven met mesenteriale of portoveneuze trombose en een casus met een longembolie bij patiënten met decompressieziekte.<sup>66,79-84</sup>

35 Over de adviezen ten aanzien van duiken na een doorgemaakte veneuze trombo-embolie zijn de richtlijnen niet eenduidig. Over het algemeen wordt geadviseerd hierbij een individuele afweging te maken (DAN en UHMS guidelines).<sup>85</sup> In principe wordt een doorgemaakte longembolie niet als een contra-indicatie beschouwd, maar is het wel van belang dat een patiënt restloos is hersteld na minimaal 3 maanden behandeling. De kandidaat duiker dient hierbij geen pulmonale klachten te hebben, een normale inspanningstolerantie en er mogen geen klinische aanwijzingen zijn voor pulmonale hypertensie. Indien bij de longembolie ook parenchymafwijkingen werden gezien bij beeldvorming, dienen deze geheel geresorbeerd te zijn.

40

#### Antistolling

45 Gebruik van antistolling vormt een relatief risico om te duiken in verband met de verhoogde bleedingsneiging. Onder bepaalde voorwaarden kan dit wel worden goedgekeurd. Hiervoor willen we graag verwijzen naar de richtlijn 'Duiken met trombocytenaggregatieremmers of anticoagulantia' van de Nederlandse vereniging van duikgeneeskunde.<sup>86</sup> Deze dateert echter uit 2012. Sindsdien zijn er een aantal nieuwe ontwikkelingen geweest die niet zijn opgenomen in deze richtlijn en mede overwogen dienen te worden. Het relatieve risico van duiken en het gebruik van antistolling dient op individuele basis te worden afgewogen door een duik-arts met expertise op gebied van antistolling.

### Pulmonale arterioveneuze malformaties (PAVM's)

Pulmonale arterioveneuze malformaties (PAVM's) zijn zeldzame arterioveneuze verbindingen in de long die in ongeveer 70% van de gevallen geassocieerd zijn met Rendu-Osler-Weber of hereditaire hemorragische teleangiëctasieën (HHT). Er kan een belangrijke extra-cardiale rechts-links shunt ontstaan. Hsu et al. beschrijven een 31-jarige duiker die tijdens stijgen van 1.5 meter diepte buiten bewustzijn raakt. Er blijkt sprake van gasembolie. Nadere analyse laat een niet eerder gediagnosticeerde HHT zien met multiële subpleurale PAVM's.<sup>87</sup> Hoewel de precieze relatie tussen mate van rechts-links shunting van stikstofbellen en het ontstaan van klinische decompressieziekte nog niet geheel duidelijk is, lijken PAVM's een belangrijke risicofactor. Ook is nog niet bekend wat de gezondheidseffecten zijn van 'silent' stikstofbellen op lange termijn.<sup>88</sup>

### Cardiale rechts-links shunt

Veneuze stikstofbellen of gas embolieën die ontstaan in weefsel wanneer een duiker terugkeert naar de oppervlakte komen vaker asymptomatisch voor dan vroeger werd gedacht.<sup>89</sup> Deze gas embolieën worden 'silent' genoemd en diffunderen uit het lichaam in het longweefsel zonder klachten te geven. Een te grote hoeveelheid van deze bubbels kan leiden tot decompressieziekte. Een cardiale rechts-links shunt is een risicofactor voor deze stikstofbellen: ze komen in de arteriële circulatie terecht en kunnen zo meer klachten geven in de vorm van decompressieziekte.<sup>90,91</sup>

### Aanbevelingen

#### Aanbeveling 3.3.1

Duiken kan worden toegestaan na een doorgemaakte veneuze trombo-embolie na een behandeling van minimaal 3 maanden, waarbij de duiker geen pulmonale klachten meer heeft, een normale inspanningstolerantie en geen klinische aanwijzingen voor pulmonale hypertensie. Indien bij de longembolie ook parenchymafwijkingen werden gezien bij beeldvorming, dienen deze geheel geresorbeerd te zijn.

#### Aanbeveling 3.3.2

Gebruik van antistolling vormt een relatief risico voor de duiksport. Voor de adviezen omtrent duiken en het gebruik van antistolling wordt verwezen naar de bestaande multidisciplinaire richtlijn van de NVD uit 2012.

#### Aanbeveling 3.3.3

Patiënten met pulmonale arterioveneuze malformaties (PAVM's) dienen te worden afgekeurd voor de duiksport.

#### Aanbeveling 3.3.4

Bij duikers met een onbegrepen decompressieziekte dient aanvullend onderzoek plaats te vinden naar een pulmonale (en cardiale) rechts-links shunt middels CT-thorax angiografie, contrastechocardiografie/shuntmeting.

### 3.4 Duiken bij pneumothorax/pleurale aandoeningen

Een pneumothorax die ontstaat gedurende het duiken, kan levensbedreigende gevolgen hebben. Immers, bij het opstijgen neemt het gasvolume in de pleuraholte toe (wet van Boyle) hetgeen kan leiden tot een spanningspneumothorax. Ziektebeelden die een verhoogd risico geven op het ontstaan van een pulmonaal barotrauma, vormen derhalve een contra-indicatie voor het beoefenen van de duiksport.

### Primair spontane pneumothorax

- 5 Een doorgemaakte primair spontane pneumothorax is een absolute contra-indicatie voor het beoefenen van de duiksport, ook indien chirurgisch behandeld middels thoracotomie met pleurectomie. Mede gezien het verhoogde recidief risico en de potentiële levensbedreigende consequenties indien een recidief pneumothorax tijdens het duiken optreedt.<sup>5,92-96</sup>

### Traumatische pneumothorax

- 10 Een traumatische pneumothorax vormt geen verhoogd bij ontbreken van letsels van het longparenchym risico op een pulmonaal barotrauma en wordt niet beschouwd als contra-indicatie voor duiken, mits volledig herstel van het onderliggend lijden, een normale longfunctie en CT-thorax.<sup>5,96</sup>

### Aanbevelingen

#### **Aanbeveling 3.4.1**

- 15 Primair spontane pneumothorax is een contra-indicatie voor duiken gezien het verhoogd recidief risico en de potentiële levensbedreigende consequenties indien een recidief tijdens het duiken optreedt.

#### **Aanbeveling 3.4.2**

- 20 Een traumatische pneumothorax vormt geen verhoogd risico op een pulmonaal barotrauma en wordt niet beschouwd als contra-indicatie voor duiken, mits volledig herstel van het onderliggend lijden, een normale longfunctie en CT-thorax.

## 4. Duiken bij obstructief en centraal slaapapneu en obesitas hypoventilatie syndroom

Er is geen literatuur voorhanden m.b.t. het Obstructief Slaapapneu (OSA) en Centraal slaapapneu (CSA) bij duiken. Hoewel OSA en non-hypercapnisch CSA geen absolute contra-indicatie vormen voor duiken, zijn zowel OSA als CSA geassocieerd met verschillende cardiovasculaire comorbiditeiten zoals hypertensie, aritmieën, hartfalen en pulmonale hypertensie.<sup>97</sup> Hier dient uitdrukkelijk rekening mee gehouden te worden tijdens een duikgeneeskundige keuring. Daarnaast dient de duiker adequaat behandeld te zijn, zonder slaapapneu gerelateerde symptomen.

Er is wel literatuur beschikbaar over de effecten van hyperbare zuurstof therapie (HBOT, te beschouwen als een droge duik) op de gaswisseling.<sup>98</sup> Het Obesitas Hypoventilatie Syndroom (OHS) lijkt in dit kader een verhoogd risico te geven op acute zuurstof intoxicatie en hypercapnisch respiratoir falen (respiratoire insufficiëntie type 2).<sup>97</sup> Naar mening van de werkgroep vormt OHS een absolute contra-indicatie voor duiken, evenals het hypercapnisch CSA.

### Aanbevelingen

#### **Aanbeveling 4.1**

OSA en non-hypercapnisch CSA vormen geen absolute contra-indicatie voor duiken, mits adequaat behandeld en klachtenvrij. Er dient wel gescreend te worden op cardiovasculaire comorbiditeiten.

#### **Aanbeveling 4.2**

OHS en hypercapnisch CSA vormen een absolute contra-indicatie voor duiken.

## Lijst van aanbevelingen

### Aanbeveling 1.5.1

Spirometrie is een waardevolle toevoeging aan screening voor fitheid om te duiken maar de longfunctiewaardes mogen op zichzelf geen uitsluitel geven voor fitheid om te duiken.

5

### Aanbeveling 1.5.2

Bij afwijkende longfunctie dient risicobeoordeling door een deskundige arts plaats te vinden die de waarden in de juiste context kan plaatsen en kan beoordelen of er sprake is van een eventueel verhoogd risico voor duiken.

10

### Aanbeveling 1.6.1

Bij afwijkende beeldvorming dient beoordeling door een deskundige arts plaats te vinden die de waarden in de juiste context kan plaatsen en kan beoordelen of er sprake is van een eventueel verhoogd risico voor duiken.

15

### Aanbeveling 1.6.2

Verricht beeldvorming middels CT thorax (eventueel aangevuld met expiratiecoupes) bij alle duikers met een klinische relevante pulmonale voorgeschiedenis (zoals recidiverende pulmonale infecties, pulmonale maligniteit, radiatie op long, mamma of borstwand, bleomycinegebruik, sarcoïdose, (recente) pneumonie, thoraxchirurgie), fors roken (>10 pakjaar), doorgemaakt barotrauma of enige verdenking op een parenchymateuze afwijking zoals emfyseem of interstitiële longziekte. Bij afwijkingen aan het parenchym dient dit als verhoogd risico te worden beschouwd voor het duiken.

20

### Aanbeveling 1.6.3

Routinematig screenen met X-thorax bij asymptomatische duikers zonder pulmonale aandoeningen in de voorgeschiedenis is niet zinvol.

25

### Aanbeveling 1.6.4

Bij symptomatische duikers met pulmonale klachten zoals kortademigheid of chronische hoest, maar zonder pulmonale aandoening in de voorgeschiedenis, wordt minimaal een X-thorax geadviseerd. Indien er klinisch aanwijzingen zijn voor specifieke longpathologie dient hier gericht onderzoek naar verricht te worden, ook bij een normale X-thorax.

30

### Aanbeveling 1.6.5

Bij een duiker met status na vroeggeboorte <32 weken wordt HRCT thorax met expiratie coupes geadviseerd. Dit wordt tevens geadviseerd bij vroeggeboorte tussen 32 en 36 weken gecompliceerd door bronchopulmonale dysplasie en bij actuele pulmonale symptomen.

35

### Aanbeveling 2.1.1

COPD is op theoretische gronden een absolute contra-indicatie voor duiken, onafhankelijk van de ernst, gezien het risico op airtrapping/barotrauma.

40

### Aanbeveling 2.1.2

De diagnose COPD wordt hierbij gesteld op basis van een FEV1/FVC onder de LLN.

45

### Aanbeveling 2.1.3

Verricht bij mensen met pre-COPD, PRISm of anderszins aanwijzingen bij longfunctieonderzoek voor kleine luchtwegziekte naast de standaard longfunctie ook een HRCT-thorax met expiratiecoupes ter beoordeling van airtrapping, emfyseem en bullae. In aanwezigheid van afwijkingen op CT is duiken gecontra-indiceerd.

50



### **Aanbeveling 2.2.1**

Goedkeuring voor duiken is te overwegen bij een patiënt met astma indien aan de onderstaande voorwaarden wordt voldaan (zie ook figuur 1):

- Er is sprake van een goed gecontroleerd astma:
  - $ACQ \leq 1$
  - Er zijn geen exacerbaties geweest in het afgelopen jaar
  - Patiënt heeft een normale longfunctie
    - $FEV1$  en  $FVC \geq 80\%$
    - $FEV1/FVC > LLN$
- Geen gebruik van rescue medicatie  $\geq 2x$  per week en/of  $<48$  uur voor de duik
- Anamnestiche geen klachten van bronchospasme uitgelokt door kou of inspanning

### **Aanbeveling 2.2.2**

- Het wordt aanbevolen om alle duikers met mogelijk verhoogd risico op astmaklachten bij een duik te testen met een indirecte provocatietest. Positieve indirecte provocatietest onder behandeling is reden tot afkeuren. Overweeg opnieuw te testen na optimalisatie van de behandeling.

### **Aanbeveling 2.2.3**

- Informeer de duiker goed over de potentiële risico's bij duiken en astma en het belang van adequate ziektecontrole van de astma. Informeer een goedgekeurde duiker met astma erop dat de goedkeuring er op ieder moment van de tijd van uit gaat dat de duiker nog aan de bovengenoemde voorwaarden voldoet.

### **Aanbeveling 3.1.1**

- Patiënten met een actuele interstitiële longziekte dienen te worden afgekeurd voor duiken.

### **Aanbeveling 3.1.2**

- Bij patiënten met een interstitiële longziekte in de voorgeschiedenis kan goedkeuring worden overwogen bij remissie (geconstateerd door een longarts) met normale longfunctie en normaal longparenchym, tenminste vastgesteld met HRCT met expiratiecoupes.

### **Aanbeveling 3.1.3**

- Bij patiënten kan  $\geq 1$  jaar na bleomycine-behandeling goedkeuring worden overwogen voor het duiken, mits normale longfunctie, diffusie en HRCT scan. Hierbij dienen restricties ten aanzien van maximale  $pO_2$  te worden gegeven conform het voorgestelde schema van v. Hulst et al. (zie literatuurverwijzing)

### **Aanbeveling 3.2.1**

- Maak bij patiënten die in het ziekenhuis opgenomen zijn geweest voor een pneumonie en een duikwens hebben, een risico inschatting voor duiken. Bij persisterende restafwijkingen op CT-thorax is duiken gecontra-indiceerd.

### **Aanbeveling 3.2.2**

- Restafwijkingen na een radiologisch bevestigde pneumonie kunnen tot 3 jaar na dato nog resorberen. Bij persisterende duikwens kan worden overwogen beeldvorming te herhalen.

### **Aanbeveling 3.2.3**

- Bij patiënten met een nieuwe duikwens, die in het verleden waren opgenomen in het ziekenhuis voor een pneumonie, wordt het tot tenminste 3 jaar na opname aanbevolen om een medisch oordeel uit te laten brengen door de behandelend specialist, waarbij tenminste een CT thorax wordt verricht. Bij een IC-opname of anderszins gecompliceerd beloop, geldt voor dit advies geen verjaringstermijn.

#### **Aanbeveling 3.3.1**

Duiken kan worden toegestaan na een doorgemaakte veneuze trombo-embolie na een behandeling van minimaal 3 maanden, waarbij de duiker geen pulmonale klachten meer heeft, een normale inspanningstolerantie en geen klinische aanwijzingen voor pulmonale hypertensie. Indien bij de longembolie ook parenchymafwijkingen werden gezien bij beeldvorming, dienen deze geheel geresorbeerd te zijn.

#### **Aanbeveling 3.3.2**

Gebruik van antistolling vormt een relatief risico voor de duiksport. Voor de adviezen omtrent duiken en het gebruik van antistolling wordt verwezen naar de bestaande multidisciplinaire richtlijn van de NVD uit 2012.

#### **Aanbeveling 3.3.3**

Patiënten met pulmonale arterioveneuze malformaties (PAVM's) dienen te worden afgekeurd voor de duiksport.

#### **Aanbeveling 3.3.4**

Bij duikers met een onbegrepen decompressieziekte dient aanvullend onderzoek plaats te vinden naar een pulmonale (en cardiale) rechts-links shunt middels CT-thorax angiografie, contrastechocardiografie/shuntmeting.

#### **Aanbeveling 3.4.1**

Primair spontane pneumothorax is een contra-indicatie voor duiken gezien het verhoogd recidiefrisico en de potentiële levensbedreigende consequenties indien een recidief tijdens het duiken optreedt.

#### **Aanbeveling 3.4.2**

Een traumatische pneumothorax vormt geen verhoogd risico op een pulmonaal barotrauma en wordt niet beschouwd als contra-indicatie voor duiken, mits volledig herstel van het onderliggend lijden, een normale longfunctie en CT-thorax.

#### **Aanbeveling 4.1**

OSA en non-hypercapnisch CSA vormen geen absolute contra-indicatie voor duiken, mits adequaat behandeld en klachtenvrij. Er dient wel gescreend te worden op cardiovasculaire comorbiditeiten.

#### **Aanbeveling 4.2**

OHS en hypercapnisch CSA vormen een absolute contra-indicatie voor duiken.

## Literatuur

1. Scott Haldane. *Leerboek duikgeneeskunde*. Bohn Stafleu van Loghum; 2007.
2. Nederlandse vereniging voor duikgeneeskunde <https://duikgeneeskunde.nl/>. Accessed Sep 26, 2025.
3. The european diving technology committee <https://edtc.org/>. Accessed Sep 26, 2025.
- 5 4. The south pacific underwater medicine society guidelines on medical risk assessment for recreational diving 6th edition. 2025. <https://www.spums.au/index.php/diving-medicals/spums-full-medical>. Accessed Sep 26, 2025.
5. British thoracic society guidelines on respiratory aspects of fitness for diving *Thorax*. 2003;58(1):3–13. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12511710/>. Accessed Sep 26, 2025. doi: 10.1136/thorax.58.1.3.
- 10 6. Nederlands instituut certificering DuikerArtsen <https://nicda.nl/>. Accessed Sep 26, 2025.
7. Malhotra MS, Wright HC. The effects of a raised intrapulmonary pressure on the lungs of fresh unchilled cadavers. *J Pathol Bacteriol*. 1961;82:198–202. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13765778/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1002/path.1700820126.
8. Leitch DR, Green RD. Recurrent pulmonary barotrauma. *Aviat Space Environ Med*. 1986;57(11):1039–1043. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3790021/>. Accessed Oct 9, 2025.
- 15 9. Walker III, Murphy-Lavoie HM. Diving in water recompression. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493220/>. Accessed Oct 9, 2025.
10. Leitch DR, Green RD. Pulmonary barotrauma in divers and the treatment of cerebral arterial gas embolism. *Aviat Space Environ Med*. 1986;57(10 Pt 1):931–938. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3778391/>. Accessed Oct 9, 2025.
- 20 11. Casadesús JM, Nieto-Moragas J, Serrando MT, et al. Pulmonary barotrauma in SCUBA diving-related fatalities: A histological and histomorphometric analysis. *Forensic Sci Med Pathol*. 2023;19(4):541–550. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36705884/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1007/s12024-022-00567-1.
12. Buzzacott P, Denoble PJ. *DAN annual diving report 2018 edition: A report on 2016 diving fatalities, injuries, and incidents*. Durham (NC): Divers Alert Network; 2018. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK540490/>. Accessed Oct 9, 2025.
- 25 13. Maio DA, Farhi LE. Effect of gas density on mechanics of breathing. *J Appl Physiol*. 1967;23(5):687–693. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6061383/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1152/jappl.1967.23.5.687.
14. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *The Lancet*. 2011;377(9760):153–164. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673610610859>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1016/S0140-6736(10)61085-9.
- 30 15. Kumar M, Thompson PD. A literature review of immersion pulmonary edema. *Phys Sportsmed*. 2019;47(2):148–151. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30403902/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1080/00913847.2018.1546104.
16. Toh PY, Parys S, Watanabe Y. Traumatic diaphragmatic rupture: Delayed presentation following a SCUBA dive. *BMJ Case Rep*. 2020;13(9):e234040. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7481093/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1136/bcr-2019-234040.
- 35 17. Tetzlaff K, Thorsen E. Breathing at depth: Physiologic and clinical aspects of diving while breathing compressed gas. *Clin Chest Med*. 2005;26(3):355–380, v. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16140132/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1016/j.ccm.2005.05.001.
- 40 18. Wingelaar TT, Clarijs P, van Ooij P, Koch D, van Hulst RA. Modern assessment of pulmonary function in divers cannot rely on old reference values. *Diving Hyperb Med*. 2018;48(1):17–22. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6467825/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.28920/dhm48.1.17-22.
19. Colebatch HJ, Ng CK. Decreased pulmonary distensibility and pulmonary barotrauma in divers. *Respir Physiol*. 1991;86(3):293–303. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1788490/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1016/0034-5687(91)90101-n.
- 45 20. Benton PJ, Francis TJ, Pethybridge RJ. Spirometric indices and the risk of pulmonary barotrauma in submarine escape training. *Undersea Hyperb Med*. 1999;26(4):213–217. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10642066/>. Accessed Oct 9, 2025.
21. Tetzlaff K, Reuter M, Leplow B, Heller M, Bettinghausen E. Risk factors for pulmonary barotrauma in divers. *Chest*. 1997;112(3):654–659. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9315797/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1378/chest.112.3.654.
- 50 22. Loddé B, Giroux-Metges M, Galinat H, et al. Does decreased diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide constitute a risk of decompression sickness in occupational divers? *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(15):6516. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10418885/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.3390/ijerph20156516.
- 55

23. van Hulst RA, van Ooij PA. Large lungs in divers: A risk for pulmonary barotrauma? *Diving Hyperb Med*. 2024;54(3):225–229. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39288928/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.28920/dhm54.3.225-229.
24. Vinetti G, Lopomo NF, Taboni A, Fagoni N, Ferretti G. The current use of wearable sensors to enhance safety and performance in breath-hold diving: A systematic review. *Diving Hyperb Med*. 2020;50(1):54–65. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7276267/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.28920/dhm50.1.54-65.
25. Tetzlaff K, Thomas PS, Erspubations &. Short-and long-term effects of diving on pulmonary function. *Eur Respir Rev*. 2017;26(143):160097. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9489140/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.1183/16000617.0097-2016].
26. Sames C, Gorman DF, Mitchell SJ, Zhou L. Long-term changes in spirometry in occupational divers: A 10–25 year audit. *Diving Hyperb Med*. 2018;48(1):10–16. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6467824/>. Accessed Oct 9, 2025. doi: 10.28920/dhm48.1.10-16.
27. Bresser MF, Wingelaar TT, Van Weering JAF, Bresser P, Van Hulst RA. An observational study ascertaining the prevalence of bullae and blebs in young, healthy adults and its possible implications for scuba diving. *Front Physiol*. 2024;15:1349229. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38420621/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.3389/fphys.2024.1349229.
28. de Bakker HM, Tijsterman M, de Bakker-Teunissen OJG, Soerdjbalie-Maikoe V, van Hulst RA, de Bakker BS. Prevalence of pulmonary bullae and blebs in postmortem CT imaging with potential implications for diving medicine. *Chest*. 2020;157(4):916–923. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31759963/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1016/j.chest.2019.11.008.
29. Toklu AS, Kiyan E, Aktas S, Cimsit M. Should computed chest tomography be recommended in the medical certification of professional divers? A report of three cases with pulmonary air cysts. *Occup Environ Med*. 2003;60(8):606–608. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12883024/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1136/oem.60.8.606.
30. Reuter M, Tetzlaff K, Warninghoff V, Steffens JC, Bettinghausen E, Heller M. Computed tomography of the chest in diving-related pulmonary barotrauma. *Br J Radiol*. 1997;70(833):440–445. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9227223/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1259/bjr.70.833.9227223.
31. Simpson SJ, Logie KM, O'Dea CA, et al. Altered lung structure and function in mid-childhood survivors of very preterm birth. *Thorax*. 2017;72(8):702–711. <https://thorax.bmj.com/content/72/8/702>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1136/thoraxjnl-2016-208985.
32. Mellem H, Emhjellen S, Horgen O. Pulmonary barotrauma and arterial gas embolism caused by an emphysematous bulla in a SCUBA diver. *Aviat Space Environ Med*. 1990;61(6):559–562. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2369396/>. Accessed Oct 14, 2025.
33. Tetzlaff K, Neubauer B, Reuter M, Warninghoff V. Pulmonary barotrauma of a diver using an oxygen rebreathing diving apparatus. *Aviat Space Environ Med*. 1996;67(12):1198–1200. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8968489/>. Accessed Oct 14, 2025.
34. Goffinet CM, Simpson G. Cerebral arterial gas embolism in a scuba diver with a primary lung bulla. *Diving Hyperb Med*. 2019;49(2):141–144. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31177521/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.28920/dhm49.2.141-144.
35. Mets OM, van Hulst RA, Jacobs C, van Ginneken B, de Jong PA. Normal range of emphysema and air trapping on CT in young men. *AJR Am J Roentgenol*. 2012;199(2):336–340. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22826394/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.2214/AJR.11.7808.
36. Qing L, Wang Y, Zhang M, et al. Case report: Tracheobronchial diverticulum, a potential risk for diving? *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1340974. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38274443/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.3389/fmed.2023.1340974.
37. Van Riel L, Van Hulst R, Van Hest L, et al. Recommendations on scuba diving in birt-hogg-dubé syndrome. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2023;17(11):1003. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37991821/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1080/17476348.2023.2284375.
38. Bove AA. Diving medicine. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. ;189(12):1479–1486. <https://www.atsjournals.org/doi/epdf/10.1164/rccm.201309-1662CI?role=tab>. Accessed Oct 24, 2025.
39. Arthur DC, Margulies RA. A short course in diving medicine. *Ann Emerg Med*. 1987;16(6):689–701. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3578978/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1016/s0196-0644(87)80075-6.
40. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary diseaseGlobal Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, Inc. 2025. <https://goldcopd.org/2025-gold-report/>. Accessed Oct 24, 2025.

41. Agustí A, Celli BR, Criner GJ, et al. Global initiative for chronic obstructive lung disease 2023 report: GOLD executive summary. *Eur Respir J*. 2023;61(4). <https://publications.ersnet.org/content/eri/61/4/2300239>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1183/13993003.00239-2023.
42. Shiraishi Y, Shimada T, Tanabe N, et al. The prevalence and physiological impacts of centrilobular and paraseptal emphysema on computed tomography in smokers with preserved ratio impaired spirometry. *ERJ Open Res*. 2022;8(2):63. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9234440/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1183/23120541.00063-2022].
43. D'Amato G, Noschese P, Russo M, Gilder J, Liccardi G. Pollen asthma in the deep. *J Allergy Clin Immunol*. 1999;104(3 Pt 1):710. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10482854/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70350-7.
44. Astarita C, Gargano D, Di Martino P. Pollen trapped in a scuba tank: A potential hazard for allergic divers. *Ann Intern Med*. 2000;132(2):166–167. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10644286/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.7326/0003-4819-132-2-200001180-00022.
45. Tetzlaff K, Muth CM, Waldhauser LK. A review of asthma and scuba diving. *J Asthma*. 2002;39(7):557–566. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12442945/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1081/jas-120014920.
46. Weiss LD, Van Meter KW. Cerebral air embolism in asthmatic scuba divers in a swimming pool. *Chest*. 1995;107(6):1653–1654. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7781362/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1378/chest.107.6.1653.
47. Davis M, Warner M, Ward B. Snorkelling and scuba diving deaths in new zealand, 1980-2000. *South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) Journal*. 2002;32(2):70–79. [https://www.researchgate.net/publication/228368580\\_Snorkelling\\_and\\_scuba\\_diving\\_deaths\\_in\\_New\\_Zealand\\_1980-2000](https://www.researchgate.net/publication/228368580_Snorkelling_and_scuba_diving_deaths_in_New_Zealand_1980-2000). Accessed Oct 14, 2025.
48. Taylor DM, O'Toole KS, Ryan CM. Experienced, recreational scuba divers in australia continue to dive despite medical contraindications. *Wilderness Environ Med*. 2002;13(3):187–193. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12353595/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1580/1080-6032(2002)013[0187:ersdia]2.0.co;2.
49. Tetzlaff K, Muth CM. Demographics and respiratory illness prevalence of sport scuba divers. *Int J Sports Med*. 2005;26(7):607–610. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16195996/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1055/s-2004-821229.
50. Weaver LK, Churchill SK, Hegewald MJ, Jensen RL, Crapo RO. Prevalence of airway obstruction in recreational SCUBA divers. *Wilderness Environ Med*. 2009;20(2):125–128. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19594212/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1580/08-WEME-OR-226R1.1.
51. Farrell PJ, Glanvill P. Diving practices of scuba divers with asthma. *BMJ*. 1990;300(6718):166. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2105799/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1136/bmj.300.6718.166.
52. Edmonds C, Walker D. Scuba diving fatalities in australia and new zealand: The human factor. 1989. <https://www.semanticscholar.org/paper/Scuba-diving-fatalities-in-Australia-and-New-The-Edmonds-Walker/917622fbf8875c0d8c3dcf638915d0f14f99bc86>. Accessed Oct 14, 2025.
53. Diving Medical Screen Committee (DMSC). Diving medical guidance to the physician. 2021. [https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving\\_Medical\\_Guidance\\_EN\\_English\\_2021-09-16.pdf](https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving_Medical_Guidance_EN_English_2021-09-16.pdf). Accessed Oct 14, 2025.
54. Asthma <https://www.ukdmc.org/medical-conditions/asthma/>. Accessed Oct 14, 2025.
55. Ustrup A, Pedersen SK, Suppli Ulrik C. Assessment of fitness for recreational scuba diving in candidates with asthma: A pilot study. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2020;6(1). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32095266/>. Accessed Oct 14, 2025. doi: 10.1136/bmjsem-2019-000624.
56. Huls G, ten Bokkel Huinink D. Bleomycin and scuba diving: To dive or not to dive? *Neth J Med*. 2003;61(2):50–53. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12735422/>. Accessed Oct 24, 2025.
57. Goldiner PL, Carlon GC, Cvitkovic E, Schweizer O, Howland WS. Factors influencing postoperative morbidity and mortality in patients treated with bleomycin. *Br Med J*. 1978;1(6128):1664–1667. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/77697/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1136/bmj.1.6128.1664.
58. Gilson AJ, Sahn SA. Reactivation of bleomycin lung toxicity following oxygen administration. A second response to corticosteroids. *Chest*. 1985;88(2):304–306. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2410201/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1378/chest.88.2.304.
59. Tryka AF, Skornik WA, Godleski JJ, Brain JD. Potentiation of bleomycin-induced lung injury by exposure to 70% oxygen. morphologic assessment. *Am Rev Respir Dis*. 1982;126(6):1074–1079. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6185024/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1164/arrd.1982.126.6.1074.

60. Ingrassia TS, Ryu JH, Trastek VF, Rosenow EC. Oxygen-exacerbated bleomycin pulmonary toxicity. *Mayo Clin Proc.* 1991;66(2):173–178. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1704473/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.1016/s0025-6196(12)60489-3.
61. van Hulst RA, Rietbroek RC, Gaastra MTW, Schlösser NJJ. To dive or not to dive with bleomycin: A practical algorithm. *Aviat Space Environ Med.* 2011;82(8):814–818. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21853861/>. Accessed Oct 24, 2025. doi: 10.3357/asem.2816.2011.
62. Sadler C, Alvarez Villela M, Van Hoesen K, et al. Diving after SARS-CoV-2 (COVID-19) infection: Fitness to dive assessment and medical guidance. *Diving Hyperb Med.* 2020;50(3):278–287. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32957131/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm50.3.278-287.
63. Morin J, Vallée N, Dufresne P, et al. Symptomatic or asymptomatic SAR-CoV-2 positive divers should be medically evaluated before returning to scuba diving. *Front Physiol.* 2022;13:1022370. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9691879/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.3389/fphys.2022.1022370.
64. Elia A, Gennser M. Considerations for scuba and breath-hold divers during the COVID-19 pandemic: A call for awareness. *Diving Hyperb Med.* 2020;50(4):413–416. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8026225/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm50.4.413-416.
65. Duiken in tijden van SARS-CoV2. <https://duikgeneeskunde.nl/richtlijnen/covid-19/>. Accessed Oct 26, 2025.
66. Sadler C, Alvarez-Villela M, Van Hoesen K, et al. Diving after COVID-19: An update to fitness to dive assessment and medical guidance. *Diving Hyperb Med.* 2022;52(1):66–67. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9016139/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm52.1.66-67.
67. Sadler C, Lussier A, Grover I, Van Hoesen K, Lindholm P. Medical examination of divers after COVID-19 infection: A prospective, observational study using published (original and revised) guidelines for evaluation. *Diving Hyperb Med.* 2024;54(3):176–183. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39288921/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm54.3.176-183.
68. Rienks R, Holdsworth D, Davos CH, et al. Cardiopulmonary assessment prior to returning to high-hazard occupations post-symptomatic COVID-19 infection: A position statement of the aviation and occupational cardiology task force of the european association of preventive cardiology. *Eur J Prev Cardiol.* 2022;29(13):1724–1730. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35266533/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1093/eurjpc/zwac041.
69. Tetzlaff K. Return to diving after COVID-19. *Eur J Prev Cardiol.* 2022;29(9):e290. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9383823/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1093/eurjpc/zwac066.
70. Mirasoglu B, Yetis G, Erelel M, Toklu AS. Post COVID-19 fitness to dive assessment findings in occupational and recreational divers. *Diving Hyperb Med.* 2022;52(1):35–43. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35313371/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm52.1.35-43.
71. Datta D, Ali SA, Henken EM, Kellet H, Brown S, Metersky ML. Pneumocystis carinii pneumonia: The time course of clinical and radiographic improvement. *Chest.* 2003;124(5):1820–1823. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14605054/>. Accessed Oct 26, 2025.
72. Niebauer JH, Iscel A, Schedl S, et al. Severe COVID-19 and its cardiopulmonary effects 6 and 18 months after hospital discharge. *Front Cardiovasc Med.* 2024;11:1366269. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38504716/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.3389/fcvm.2024.1366269.
73. Garg M, Prabhakar N, Devkota S, et al. Chest CT findings at six months following COVID-19 ARDS - correlation with the mMRC dyspnea scale and pulmonary function tests. *Br J Biomed Sci.* 2024;81:12871. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39055310/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.3389/bjbs.2024.12871.
74. Roig-Martí C, Pérez-Catalán I, Varea-Villanueva M, et al. Predictors of the presence of radiological abnormalities 6 months after severe COVID-19 pneumonia. *BMC Infect Dis.* 2024;24(1):883. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39210255/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1186/s12879-024-09767-2.
75. Han X, Chen L, Guo L, et al. Long-term radiological and pulmonary function abnormalities at 3 years after COVID-19 hospitalisation: A longitudinal cohort study. *Eur Respir J.* 2024;64(1):2301612. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38387969/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1183/13993003.01612-2023.
76. Tresoldi M, Zangrillo A, Belletti A, et al. Two-year multidisciplinary follow-up of COVID-19 patients requiring invasive and noninvasive respiratory support. *Minerva Med.* 2023;114(6):773–784. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37021472/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.23736/S0026-4806.22.08397-5.
77. Stewart I, Jacob J, George PM, et al. Residual lung abnormalities after COVID-19 hospitalization: Interim analysis of the UKILD post-COVID-19 study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2023;207(6):693–703. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36457159/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1164/rccm.202203-0564OC.



78. Vannini M, Schved J, Smadja DM, et al. Should a history of venous thromboembolism be considered a contraindication for scuba diving? *Res Pract Thromb Haemost*. 2025;9(1):102647. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39810982/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1016/j.rpth.2024.102647.
79. Gertler SL, Stein J, Simon T, Miyai K. Mesenteric venous thrombosis as sole complication of decompression sickness. *Dig Dis Sci*. 1984;29(1):91–95. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6692739/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1007/BF01296869.
80. Bird N. CT finding of VGE in the portal veins and IVC in a diver with abdominal pain: A case report. *Undersea Hyperb Med*. 2007;34(6):393–397. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18251435/>. Accessed Oct 26, 2025.
81. Righini M, Gueddi S, Maurel B, Coulange M. Scuba diving and portal vein thrombosis: A case report. *Clin J Sport Med*. 2010;20(6):497–499. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21079451/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1097/JSM.0b013e3181fab19d.
82. Toyota S, Nagata S, Yoshino S, et al. Mesenteric venous thrombosis as a rare complication of decompression sickness. *Surg Case Rep*. 2020;6(1):24. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31950288/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1186/s40792-020-0780-9.
83. Kassab EV, Bass JR, Douglas E, Speake MR. Portal and mesenteric vein thrombosis associated with decompression sickness in a 48-year-old deep sea self-contained underwater breathing apparatus (SCUBA) diver. *Am J Case Rep*. 2022;23:e935473. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35347103/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.12659/AJCR.935473.
84. Gaye U, Sevinc SU, Ozgur K, Tuna G, Fusun EO. Bilateral massive pulmonary embolism secondary to decompression sickness: A case report. *Heart Lung*. 2007;36(6):450–453. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18005806/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1016/j.hrtlng.2007.02.007.
85. Chapter 6: Pulmonary and venous disorders. <https://dan.org/health-medicine/health-resource/dive-medical-reference-books/the-heart-diving/pulmonary-and-venous-disorders/>. Accessed Oct 26, 2025.
86. Westerweel PE, Rienks R, Tucker MMB, van Hulst RA, van Ooij PJAM. Duiken met trombocytenaggregatiemmers of anticoagulantia. *Duikgeneeskunde.nl*. 2012. <https://duikgeneeskunde.nl/wp-content/uploads/2019/09/Antistolling.pdf>. Accessed Oct 26, 2025.
87. Hsu Y-, Wang H-, Yang P-. Desbaric air embolism during diving: An unusual complication of osler-weber-rendu disease. *Br J Sports Med*. 2004;38(4):E6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15273199/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1136/bjsm.2002.004432.
88. Madden D, Ljubkovic M, Dujic Z. Intrapulmonary shunt and SCUBA diving: Another risk factor? *Echocardiography*. 2015;32 Suppl 3:205. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25693625/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1111/echo.12815.
89. Ljubkovic M, Dujic Z, Møllerløgken A, et al. Venous and arterial bubbles at rest after no-decompression air dives. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(6):990–995. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21085032/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1249/MSS.0b013e31820618d3.
90. Gerriets T, Tetzlaff K, Liceni T, et al. Arteriovenous bubbles following cold water sport dives: Relation to right-to-left shunting. *Neurology*. 2000;55(11):1741–1743. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11113236/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1212/wnl.55.11.1741.
91. Wilmshurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. *Lancet*. 1989;2(8675):1302–1306. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2574256/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1016/s0140-6736(89)91911-9.
92. Ayed AK. Suction versus water seal after thoracoscopy for primary spontaneous pneumothorax: Prospective randomized study. *Ann Thorac Surg*. 2003;75(5):1593–1596. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12735584/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1016/s0003-4975(02)04894-4.
93. Calder IM. Autopsy and experimental observations on factors leading to barotrauma in man. *Undersea Biomed Res*. 1985;12(2):165–182. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4071844/>. Accessed Oct 26, 2025.
94. Tschoop J, Bintcliffe O, Astoul P, et al. ERS task force statement: Diagnosis and treatment of primary spontaneous pneumothorax. *Eur Respir J*. 2015;46(2):321–335. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26113675/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1183/09031936.00219214.
95. Ziser A, Väänänen A, Melamed Y. Diving and chronic spontaneous pneumothorax. *Chest*. 1985;87(2):264–265. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3967535/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1378/chest.87.2.264.
96. Pneumothorax <https://www.ukdmc.org/medical-conditions/pneumothorax/>. Updated 2023. Accessed Oct 26, 2025.
97. Laliou RC, Bol Raap RD, Dubois EF, van Hulst RA. Sudden death after oxygen toxicity seizure during hyperbaric oxygen treatment: Case report. *Diving Hyperb Med*. 2020;50(2):185–188. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32557424/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.28920/dhm50.2.185-188.

98. Heyboer M, Sharma D, Santiago W, McCulloch N. Hyperbaric oxygen therapy: Side effects defined and quantified. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2017;6(6):210–224. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28616361/>. Accessed Oct 26, 2025. doi: 10.1089/wound.2016.0718.