

Recreatieve duikers

Er zijn geen wettelijk bepaalde normen voor recreatieve duikers. Duikers, aangesloten bij de Nederlandse Onderwatersport Bond (NOB) worden gekeurd volgens de "Keuringsrichtlijnen Sportduiken" van de Nelos-NOB, (Utrecht, 2001). Er is ook veel andere literatuur waarin richtlijnen en aanbevelingen worden gegeven (zie lijst). Voor wat betreft de keuringseisen cardiologie kan ik verwijzen naar mijn hoofdstuk Cardiologie in het boek Duikgeneeskunde, theorie en praktijk (JJ Brandt Corstius, SM Dermout, L Feenstra, ed, 2006), hieronder, enigszins gewijzigd naar nieuwe inzichten (2019), weergegeven.

Inleiding

Bij het scuba duiken treden een aantal fysiologische veranderingen op die hun weerslag hebben op het cardiovasculaire systeem. Het cardiovasculaire systeem wordt hierdoor belast. Dit heeft als consequentie dat er aan scuba duikers bepaalde eisen moeten worden gesteld ten aanzien van (cardiovasculaire) gezondheid en fitheid. In dit hoofdstuk wordt aangegeven, aan welke eisen ten aanzien van fitheid en cardiovasculaire gezondheid moet worden voldaan om veilig te kunnen duiken. Het aantal sportduikers met hart- en vaatziekten neemt toe omdat steeds meer ouderen blijven of gaan duiken. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het sportduiken met hart-en vaatziekten. Tevens wordt het probleem van shunting in het kader van decompressieziekte besproken.

Door de keurend arts (al dan niet cardioloog) kunnen adviezen worden gegeven aan de (potentiële) duiker over het wel of niet verantwoord zijn van duiken. Een advies zal gebaseerd zijn op een risico-inschatting ten aanzien van de veiligheid van het duiken voor betrokkene en diens buddy. Duiken kent zijn eigen problemen en risico's. Een advies ten aanzien van duiken bij mensen met cardiovasculaire problematiek dient dan ook gegeven te worden door een cardioloog met een specifieke deskundigheid op het gebied van duiken.

Ten aanzien van de geschiktheid voor het duiken worden in dit hoofdstuk de volgende adviezen gehanteerd: betrokkene wordt geschikt geacht (geen verhoogd risico), betrokkene wordt niet geschikt geacht (sterk verhoogd risico), of betrokkene wordt beperkt geschikt geacht (enigszins verhoogd risico).

Cardiovasculaire veranderingen bij duiken.

Het eerste waarmee de duiker geconfronteerd kan worden is het aandoen van de uitrusting en het met zo'n 10 – 20 kg uitrusting lopen naar de waterkant. Dit vereist de nodige inspanning. De omstandigheden aan de kust en in het water (bv rotsachtige bodem, branding, stroming, getijden, temperatuur van lucht en water, zicht) en bijvoorbeeld een boottocht over een onrustige zee met als gevolg zeeziekte kunnen de inspanning nog vergroten en bijdragen tot stress, en de hiermee gepaard gaande bloeddrukverhoging en tachycardie.

Bij het te water gaan moet men rekening houden met 2 belangrijke effecten: de duikreflex en immersie. De duikreflex, met name geïnitieerd door contact van het gelaat met koud water, veroorzaakt bradycardie en perifere vasoconstrictie waardoor de bloeddruk stijgt. Bij immersie zal door de hydrostatische druk bloed vanuit de perifere venen naar het hart en de longcirculatie worden verplaatst. Ook een lage watertemperatuur met daardoor een perifere

vasconstrictie draagt aan dit effect bij. Geschat wordt dat het bloedvolume in de thorax met ongeveer 500 - 700 cc toeneemt.

Dit leidt tot een verhoogde druk in de rechter hart helft (met name het rechter atrium) en een toename van de hartgrootte. Ook neemt het bloedvolume in de longcapillairen toe. De cardiac output neemt hierbij met ongeveer 30 % toe. Door dilatatie van het rechter atrium wordt het atriaal natri-uretisch peptide (ANP) afgegeven, terwijl afgifte van het anti-diuretisch hormoon (ADH) wordt geremd. Dit bevordert de diurese, met als gevolg vochtverlies .(1)

Door de hydrostatische druk (middels de baroreceptoren) en de toegenomen pO₂ in het bloed kan een bradycardie ontstaan. (2, 3) Tijdens het duiken met perslucht wordt stikstof opgenomen in de weefsels. Bij het naar de oppervlakte komen zal dit weer worden afgegeven aan het veneuze bloed. Dit resulteert in een verhoging van de pN₂ in het bloed en niet-klinisch manifeste, "silent" stikstofbellen. Deze treden vooral op vanaf ongeveer een half uur na de duik. Door het bloed worden de belLEN naar de longen getransporteerd, alwaar het stikstof wordt uitgewassen. De belLEN lopen vast in de longcapillairen, waardoor er een passagère verhoging van de pulmonale vaatweerstand ontstaat en een verhoging van de druk in de rechter hart helft. Hierdoor kan een tijdelijke omkering van een eventueel aanwezige shunt optreden, bijvoorbeeld bij een atrium septum defect (ASD), ook kan een functioneel gesloten doch nog steeds doorgankelijk foramen ovale (PFO) worden geopend. Dit effect kan worden versterkt na krachtsinspanning en na de Valsalva manoeuvre, waarna door een reactief toegenomen flow extra drukverhoging in de rechter hart helft kan optreden. Hierdoor kunnen stikstofbellen oversteken van het rechter naar het linker atrium en in de systemische circulatie terecht komen, met als gevolg arteriële gas embolie (AGE). De stikstofbellen lopen dan niet vast in het longvaatbed maar bijvoorbeeld in de hersenen met als gevolg neurologische uitval. Stikstofbellen kunnen ook in de systemische circulatie terecht komen door intra-pulmonale rechts-links shunts of, indien massaal aanwezig, doordat ze zich door de longcapillairen persen. (4-7)

Bij het klaren in de compressiefase zijn de opgebouwde drukken over het algemeen niet hoog genoeg om de druk in het rechter atrium belangrijk te beïnvloeden (8). Daar er in deze fase nog geen stikstofbellen zijn bestaat er hierbij geen risico voor een arteriële gas embolie.

Hoe fit moet je zijn om te duiken?

Een goede lichamelijke conditie is van belang om veilig te kunnen duiken. Te vaak wordt, met name door commerciële duikorganisaties, het duiken afgeschilderd als iets wat iedereen veilig kan doen. Zoals boven beschreven, worden er aan het cardiovasculaire systeem bij het duiken soms hoge eisen gesteld. Een rustige duik in water van een aangename temperatuur vanaf een boot met goed duikpersoneel, vereist weinig conditie. Het probleem is echter dat de duiker over een conditionele reserve moet beschikken die aangesproken kan worden bij onverwachte situaties, zoals bijvoorbeeld stromingen, afdrijven, en het redden van een buddy in nood.

Er is momenteel een discussie gaande over welke conditie men zou moeten beschikken om veilig te kunnen duiken en hoe dit te meten. Ideaal zou een sport-specifieke inspanningstest (zwemtest) zijn. Dit is in de praktijk echter meestal moeilijk uitvoerbaar. Voor militaire en commerciële duikers wordt als minimum eis gesteld een VO₂ max van 40 ml/kg/min (bij directe meting), overeenkomend met 11- 13 METS (1 MET, metabole equivalent, is het zuurstofverbruik van een persoon in rust: 3,5 ml/kg/min). Dit komt ongeveer overeen met een belasting op de tredmolen volgens het Bruce protocol stadium 4. Fietsergometrisch komt dit overeen met een belasting van ongeveer 220 W bij een gewicht van 75 kg. Opgemerkt zij, dat de VO₂ max waarden bij indirecte meting (dus geschat, zoals bij de inspanningstesten zonder intra-arteriële bloedgasmeting en respiratoire gasmeting) veelal hoger uitkomen in vergelijking met een directe meting, zodat bovenstaande waarden bij

indirecte meting als minimum moeten worden beschouwd. Vanwege de gewichtloosheid onder water wordt ook wel gesteld dat het gewichtscriterium niet betrokken zou moeten worden bij de beoordeling van de fitheid. De VO₂ max zou dan minimaal ongeveer 2,8 l/minuut moeten zijn. Hier valt tegen in te brengen dat niet alleen de inspanning in het water, maar ook de inspanningen voor- en nadien (bijvoorbeeld water in- en uitgaan met uitrusting) in de beoordeling moeten worden betrokken. Tevens neemt onder water de zwemweerstand toe door de apparatuur, zwemvest etc. Daar de omstandigheden tijdens het duiken geen rekening houden met de leeftijd, is er geen afname van de minimale VO₂ max toegestaan bij toenemende leeftijd. Indien een duiker niet kan voldoen aan de hierboven gestelde fitheidseisen wordt hij beschouwd als beperkt geschikt (9, 10).

Hart- en vaatziekten.

Geschat wordt dat minstens 20 % van de dodelijke duikongevallen is te wijten aan cardiovasculaire problematiek. Gezien het ontbreken van obductiegegevens kan dit getal niet nader worden gepreciseerd. Naarmate de duikende populatie ouder wordt neemt het percentage cardiovasculaire problemen als oorzaak van de dodelijke duikongevallen toe (11, 12). Het grote probleem is acuut onvermogen van de duiker door symptomen ten gevolge van bv ischemie, acuut hartfalen of hartritmestoornissen. Er zijn momenteel een aantal richtlijnen in omloop betreffende het keuren van duikers. Meestal wordt gebruik gemaakt van die van Bove (13) of de keuringsrichtlijnen van de NELOS-NOB, (14) of Parker (15). Aangezien er geen gerandomiseerde, dubbelblinde prospectieve onderzoeken bestaan over het duiken bij de verschillende ziektebeelden zal een advies altijd gebaseerd zijn op de best mogelijke evidence, in dit geval expert opinion. Behoudens bovengenoemde keuringsrichtlijnen zijn ook de aanbevelingen van de 26e Bethesda Conference on Cardiovascular Abnormalities in the Athlete, waarbij scuba duiken kan worden geclassificeerd als "moderate static" en "low tot moderate dynamic", (16) alsmede "expert experience" in de formulering van deze aanbevelingen betrokken. Onderstaande adviezen zijn gebaseerd op de door de werkgroep ontwikkelde aanbevelingen.

Uitgangspunt is, dat een duiker geen klachten of cardiovasculaire aandoeningen heeft die acuut onvermogen kunnen veroorzaken. Bij klachten van pijn of druk op de borst bij inspanning, kortademigheid, duizeligheid of syncope, of verminderde inspanningstolerantie is betrokkene niet geschikt om te duiken. Bestaat er twijfel over de oorzaak van klachten van pijn of druk op de borst of bestaat er anderszins verdenking op angina pectoris of ischemie, dan dient de duiker te worden verwezen naar een cardioloog. Hartkloppingen zijn op zich geen contra-indicatie voor duiken, mits ze niet gepaard gaan met bijkomende klachten of een verminderde inspanningstolerantie. Wel dienen ze te worden geëvalueerd door een cardioloog. Onderstaand zullen relevante ritmestoornissen en een aantal andere cardiovasculaire ziektebeelden besproken.

Coronaire hartziekten.

Indien er sprake is van ischemie, zowel gepaard gaand met klachten als stille ischemie, is betrokkene niet geschikt om te duiken. Ischemie vermindert de inspanningstolerantie door vermindering van de contractiekracht van het hart en vergroot het risico op (fatale) hartritmestoornissen. Een goed behandelde ischemie, hetzij medicamenteus, hetzij middels een interventie, vormt geen belemmering voor duiken. Wel wordt hierbij dan als eis gesteld, dat betrokkene goed kan worden belast (13 METS), zonder tekenen van ischemie of ritmestoornissen. Na een doorgemaakt acuut coronair syndroom (ACS: instabiele angina pectoris, myocardinfarct) is betrokkene gedurende een half jaar niet geschikt om te duiken. Het duiken kan daarna weer worden hervat als aan een aantal voorwaarden is voldaan: er moet sprake zijn van een goede inspanningstolerantie (13 METS), waarbij

geen ischemie meer aantoonbaar is, en er mag geen sprake zijn van hemodynamisch belangrijke of potentieel levensbedreigende ritmestoornissen. De ejectiefractie moet > 40 % bedragen, en er mag geen medicatie worden gebruikt ter behandeling van ernstige ritmestoornissen. Het gebruik van bètablokkers is geen bezwaar mits er een voldoende inspanningstolerantie is (13 METS). Voor een status na een Percutane Coronaire Interventie (PCI: PTCA (Dotter), stent) en CABG (coronary artery bypass grafting) gelden dezelfde voorwaarden als na ACS. Reden voor het tijdsinterval tussen de coronaire event en het hervatten van het duiken is, dat zich in het eerste jaar na zo'n event de meeste complicaties voordoen (ritmestoornissen, restenoserig van behandelde coronairarteriën, re-infarcering, plotselinge hartdood). Voor het hervatten van het duiken dient betrokkene door een cardioloog te worden onderzocht, waarbij een inspanningstest, en vaak tevens een echocardiogram en een 24 uren ambulante ritmeregistratie (Holter) moeten worden verricht. Bij mensen die hartchirurgie hebben ondergaan dient tevens te worden gelet op eventuele verklevingen in de pleuraholte of schade aan de longen na openen van de pleura, bijvoorbeeld voor het vrijprepareren van de arteriae mammae. In dat geval dient ook een longarts geconsulteerd te worden.

Periprocedureel en vaak tot een jaar of langer na de procedure (PCI, CABG) worden anti-coagulantia gegeven. Het gebruik van trombocytenaggregatieremmers (aspirine, clopidogrel) verlengt de bloedingstijd. Het gebruik van 2 anti-coagulantia hiervan maakt dan ook ongeschikt om te duiken, gezien het feit dat er bij duiken vaak micro(baro)traumata optreden, met name in de oren en de longen, die aanleiding kunnen geven tot bloedingen ter plaatse. Het gebruik van orale anti-coagulantia zoals coumarines en DOACs als anticoagulantie- monotherapie maakt in principe niet ongeschikt voor duiken.

Na het hervatten van het duiken dienen alle duikers met een status na ACS, PCI of CABG jaarlijks te worden gekeurd, waarbij dan ook een inspanningstest moet worden verricht. Patiënten met coronairlijden die willen gaan duiken dient dit te worden ontraden, daar de meeste (dodelijke) ongevallen zich juist in de trainingsperiode voordoen. Duikers met coronairlijden zijn ongeschikt als instructeur.

Ritme- en geleidingsstoornissen

Ritmestoornissen kunnen worden onderverdeeld in tachycardiën (frequentie > 100/minuut) en bradycardiën (frequentie < 60/minuut). Indien er sprake is van hartritmestoornissen die gepaard gaan met hemodynamische symptomen (duizeligheid, syncope, dyspnoe, pijn op de borst, verminderde inspanningstolerantie) is betrokkene niet geschikt om te duiken.

De ritmestoornis die in de praktijk het meest aanleiding zal geven tot discussie is (paroxysmaal) atriumfibrilleren. Indien een duiker tijdens atriumfibrilleren geen klachten heeft of alleen palpitations, en er sprake is van een goede inspanningstolerantie (13 METS), is hij geschikt om te duiken. Dit geldt ook voor medicamenteus behandeld atriumfibrilleren. Vanwege mogelijke pro-aritmische effecten van sommige anti-aritmica en het feit, dat door het duiken zelf (supra)ventriculaire ritmestoornissen kunnen ontstaan, is betrokkene tot een half jaar na het instellen van een medicamenteuze therapie ongeschikt voor duiken. Voor het hervatten van het duiken dienen een ECG, een inspanningstest en een Holter gedaan te worden om belangrijke ritmestoornissen uit te sluiten. Indien er in de tropen wordt gedoken dient er bij het voorschrijven van malariaprofylaxe rekening te worden gehouden met eventuele proaritmische interactie met reeds voorgeschreven anti-aritmica. Er moet bij hartritmestoornissen altijd worden gekeken of eventuele onderliggende cardiale oorzaken betrokkene ongeschikt maken om te duiken.

Andere supraventriculaire ritmestoornissen moeten op dezelfde manier worden beoordeeld ten aanzien van de geschiktheid voor het duiken.

Bij chronisch en paroxysmaal atriumfibrilleren wordt vaak antistollingstherapie voorgeschreven in de vorm van thrombocytenaggregatieremmers (DOACs) of coumarines. Voor wat betreft de geschiktheid tot duiken gelden hiervoor dezelfde overwegingen als boven beschreven onder "coronaire hartziekten". Monotherapie van anticoagulantia maakt niet ongeschikt, wel dubbele of tripel therapie.

Ventriculaire ritmestoornissen in de zin van ventriculaire extra systolie (VES) in rust, verdwijnend bij inspanning, maken betrokkene over het algemeen niet ongeschikt om te duiken. Treden VES op bij inspanning of is er sprake van ventriculaire tachycardiën dan dient betrokkene geëvalueerd te worden door een cardioloog en is er meestal sprake van ongeschiktheid voor duiken. Een ICD (internal cardioverter/defibrillator) maakt ongeschikt voor duiken in verband met de onderliggende, in principe levensbedreigende ritmestoornis, die kan leiden tot bewustzijnsverlies en circulatiestilstand.

Patiënten met een WPW patroon op het ECG die klachten hebben van palpitaties zijn niet geschikt om te duiken en er dient nadere evaluatie door een cardioloog te geschieden, daar er kans bestaat op supraventriculaire (cirkel)tachycardiën. Bij asymptomatische patiënten moet nader onderzoek gedaan te worden naar de geleidende eigenschappen van de accessoire bundel. Bij een korte refractaire periode van de accessoire bundel (< 250 ms) bestaat het risico op het ontstaan van fatale ventriculaire ritmestoornissen in geval van het optreden van een supraventriculaire ritmestoornis (met name atriumfibrilleren), aangezien er dan snelle geleiding van de pulsen over de accessoire bundel kan plaatsvinden met als mogelijk gevolg zelfs ventrikelfibrilleren. In principe kan 3 maanden na een succesvolle ablatie weer worden gedoken. Mocht het voor de ablatie van bijvoorbeeld atriale ritmestoornissen nodig zijn geweest het atriumseptum te perforeren, dan zal eerst echocardiografisch moeten worden vastgesteld of er geen sprake is van een rest ASD alvorens het duiken te hervatten. Meestal is er geen sprake van een rest ASD na een dergelijke procedure.

Een asymptomatische sinusbradycardie is geen belemmering voor duiken. Bij goed getrainde personen is er vaak sprake van een sinusbradycardie in rust, soms ook van ventriculaire escaperitmes. Bij inspanning normaliseert het ritme. Indien betrokkene een β -blokker of Calcium-antagonist gebruikt kan de onderliggende indicatie (bijvoorbeeld ischemie) betrokkene ongeschikt maken voor duiken. Als de onderliggende indicatie betrokkene niet ongeschikt maakt voor duiken, en er sprake is van een goede inspanningstolerantie (13 METS of equivalent, zie boven) is er geen bezwaar tegen duiken. Frequenties overdag van < 40 minuut met of zonder medicatie zijn abnormaal en maken doorgaans ongeschikt voor duiken. Dit dient cardiologisch geëvalueerd te worden.

Een 1e graads AV blok of een asymptomatisch 2e graads AV blok type Mobitz I (Wenckebach) vormen geen probleem bij het duiken. Bij een 2e graads AV blok type Mobitz 2 en een 3e graads (totaal) AV blok zijn moet duiken worden ontraden, daar de geleidingsproblemen zich hierbij in de bundel van His bevinden. Een geïsoleerd links anterior of posterior fasciculair blok (LAFB, LPFB, L of R as op het ECG) is geen probleem. Ook een incompleet rechter bundeltak blok (ic RBTB) vormt geen probleem bij duiken. Een compleet RBTB dient geëvalueerd te worden, omdat dit soms gezien wordt in associatie met een Atrium Septum defect (ASD). Een (in)compleet LBTB moet ook te worden geëvalueerd daar hieraan problemen ten grondslag kunnen liggen in de zin van ischemie of cardiomyopathie. Bij afwezigheid van onderliggende cardiale pathologie is er geen bezwaar tegen duiken bij RBTB en LBTB. Bij combinaties van geleidingsstoornissen (zoals 1e graads AV blok met LBTB of RBTB, RBTB met LAFB of LPFB) dient betrokkene te worden verwezen naar een cardioloog met duikgeneeskundige expertise omdat dit een voorbode kan zijn van een totaal AV blok.

Pacemakers

Bij pacemakers treedt onder hyperbare druk vervorming op van het pacemakerhuis, de can. Hierop zijn soms sensoren gemonteerd voor bijvoorbeeld spieractiviteit, vaak een piezo-electrisch kristal. Er zijn zeer weinig data over het functioneren van pacemakers onder hyperbare omstandigheden. Bij een duiker met een pacemaker zal eerst moeten worden onderzocht of er sprake is van onderliggend lijden dat ongeschikt maakt voor duiken. Indien een duiker pacemaker afhankelijk is, is betrokkene ongeschikt om te duiken. Indien een duiker niet pacemaker afhankelijk is, is betrokkene beperkt geschikt om te duiken. Er dient dan gedoken te worden ruim binnen de door de fabrikant aangegeven limieten. Deze limieten zijn meestal slechts zijn gebaseerd op tests betreffende het behoud van integriteit van de can, doch niet betreffende het functioneren van eventuele sensoren. Niet alle pacemakerfabrikanten testen hun pacemakers voor hyperbare omstandigheden (17-19).

Hypertensie

De huidige aanbevelingen voor normotensie zijn 140/90 mm Hg of lager. Bij hypertensie zal moeten worden vastgesteld of er sprake is van primaire of secundaire hypertensie, en of er sprake is van eindorgaanschade (hieronder wordt verstaan: linker ventrikel hypertrofie, atherosclerose of intimaverdikking, verhoogd serum kreatinine (maximaal tot 133 $\mu\text{mol/l}$ bij mannen en 124 $\mu\text{mol/l}$ bij vrouwen), of microalbuminurie) dan wel geassocieerde klinische condities (cardiaal: myocardinfarct, angina pectoris, coronaire revascularisatie, hartfalen; cerebrovasculair, nierinsufficiëntie, perifeer vaatlijden, ernstige retinopathie). In het geval van secundaire hypertensie of hypertensie in combinatie met eindorgaanschade of geassocieerde klinische condities dient duiken te worden ontraden, omdat door de slechtere arteriële vaatvoorziening de beschadigde organen gevoeliger zijn voor decompressieziekte. Bij het duiken kan door diverse factoren een verhoging van de bloeddruk optreden (zie hiervoor). Een bloeddruk boven de 160/100 mm Hg maakt daarom ongeschikt voor duiken. Bij een bloeddruk tussen de 140 en 160 mm Hg systolisch en 90 en 100 mm Hg diastolisch (al dan niet onder medicatie) is er sprake van een beperkte geschiktheid. Na een goede instelling van de hypertensie (dus 140/90 mm Hg of lager) is betrokkenen geschikt om te duiken, mits er geen sprake is van eindorgaanschade. Bij goed behandelde hypertensie met geassocieerde klinische condities is er sprake van een beperkte geschiktheid. Afhankelijk van de aard en ernst van de geassocieerde klinische condities zal soms ook sprake zijn van ongeschiktheid voor duiken, ondanks een goed behandelde hypertensie. (20-23)

Hartkleplijden en hartspierziekten

Evenals bij coronaire hartziekten geldt ook voor duikers met hartklepafwijkingen en hartspierziekten dat er sprake moet zijn van een goede inspanningstolerantie (zie hiervoor), en afwezigheid van ischemie of belangrijke hartritmestoornissen. Asymptomatische duikers met hartklepafwijkingen of hartspierziekten dienen 1 x per jaar door een cardioloog te worden gecontroleerd ter evaluatie van eventuele progressie van de afwijkingen, waarbij dan een inspanningstest, een echocardiogram en een 24-uursregistratie van de hartslag moeten plaatsvinden.

Bij een *verminderde linker ventrikelfunctie*, (ejectiefractie < 40 %) op basis van myocardinfarct of dilaterende cardiomyopathie, is er sprake van ongeschiktheid voor duiken. Een *hypertrofische cardiomyopathie met uitstroomelemmering ter plaatse van de linker ventrikel uitstroombaan (HOCM)* maakt iemand ongeschikt voor duiken. Bij een *hypertrofische cardiomyopathie zonder uitstroomelemmering uit de linker ventrikel (HCM)* is er een beperkte geschiktheid. Vastgesteld zal moeten worden, of en in hoeverre er sprake is van beperkende klachten en (de kans op) ventriculaire ritmestoornissen. *Linker ventrikel hypertrofie* in het kader van andere pathologie (hypertensie,

aortaklepstenose) maakt ongeschikt voor duiken. Het is soms een probleem een beginnende hypertrofie te onderscheiden van het sporthart. Bij een sporthart is er geen sprake van ongeschiktheid voor duiken, daar er hierbij sprake is van een gezond en goed geadapteerd hart.

Bij een *aortaklepstenose* is er sprake van een uitstroombemmering van bloed uit de linker ventrikel. Naarmate de bemmering toeneemt zal het hart hierop reageren door het verdikken van de hartspier, linker ventrikel hypertrofie. Bij een geringe aortaklepstenose (piek-systolische drukgradiënt < 20 mm Hg, aortakleppoppervlak $> 1,5$ cm²) zonder klachten, een goede inspanningstolerantie en geen aanwijzingen voor ischemie of ritmestoornissen is betrokkene geschikt voor duiken. Bij een belangrijke aortaklepstenose (pieksystolische drukgradiënt > 50 mm Hg, mean > 40 mm Hg, aortakleppoppervlak $< 1,0$ cm²) is betrokkene ongeschikt voor duiken. In tussenliggende gevallen zal individueel moeten worden nagegaan in hoeverre er sprake is van een beperkte geschiktheid voor duiken.

Bij een *aortaklep insufficiëntie* zal er door terugstroom van bloed van de aorta naar de linker ventrikel een dilatatie optreden van het linker ventrikel. Bij een geringe aortaklepinsufficiëntie is het linker ventrikel normaal en is betrokkene geschikt voor duiken. Bij een ernstige aortaklepinsufficiëntie is het linker ventrikel zowel diastolisch (> 60 mm) als systolisch (> 45 mm) vergroot. Dit levert een ongeschikt voor duiken op. In tussenliggende gevallen zal individueel moeten worden in hoeverre er sprake is van een beperkte geschiktheid voor duiken.

Bij *mitralisklepstenose* is er een verminderde bloedstroom vanuit de linker boezem naar de linker ventrikel. Dit leidt eerst tot vergroting van het linker atrium bij sinusritme, en later tot het ontstaan van atriumfibrilleren. Hemodynamisch ontstaan er verder verhoging van de pulmonale wedgedruk en pulmonale hypertensie. Met name bij inspanning kan er een sterke verhoging optreden van de pulmonale wedgedruk en de druk in de arteria pulmonalis. Hiermee neemt het risico toe op longoedeem tijdens duiken en op rechts-links shunt in de decompressiefase. De ernst van de mitralisklepstenose zal meestal echocardiografisch worden bepaald. Bij een geringe mitralisklepstenose (mitraliskleppoppervlak $> 1,5$ cm², gemiddelde drukgradiënt over de mitralisklep van < 5 mm Hg, systolische pulmonalisdruk < 35 mm Hg) is betrokkene geschikt voor duiken. In alle andere gevallen is er sprake van ongeschiktheid voor duiken.

Bij *mitralisklepinsufficiëntie* stroomt bloed terug vanuit het linker ventrikel naar het linker atrium. Dit kan lijden tot vergroting van het linker atrium tijdens sinus ritme en later tot het ontstaan van atriumfibrilleren. Ook kan er een vergroting optreden van het linker ventrikel. Dit wordt over het algemeen lange tijd goed verdragen door het hart. Bij een geringe mitralisklepinsufficiëntie, waarbij de dimensies van het linker ventrikel en het linker atrium normaal zijn, is betrokkene geschikt voor duiken. Een mitralisklepinsufficiëntie wordt gedefinieerd als belangrijk indien bij echocardiografisch onderzoek het oppervlakte van de regurgitatiejet > 8 cm² bedraagt. Dit gaat over het algemeen gepaard met een vergroting van het linker ventrikel (einddiastolisch > 60 mm, eindsystolisch > 45 mm) en van het linker atrium (> 45 mm). Ook is er dan meestal sprake van atriumfibrilleren, waarbij een indicatie tot gebruik van orale anticoagulantia bestaat. Een belangrijke mitralisklepinsufficiëntie en maken betrokkene ongeschikt voor duiken. In tussenliggende gevallen zal individueel moeten worden gezien in hoeverre er sprake is van een beperkte geschiktheid voor duiken.

Patiënten met een *goed functionerende klepprothese* zijn in principe geschikt voor duiken. Het gebruik van orale anti-coagulantia, noodzakelijk bij mechanische hartklepprothesen, maakt betrokkenen niet ongeschikt voor duiken, mits goed ingesteld. Dit probleem speelt, behoudens gedurende een aantal maanden orale anticoagulantia gebruik post operatief, niet bij bioprothesen.

Longoedeem

Er zijn diverse case reports waarin het optreden van longoedeem tijdens het duiken wordt beschreven. Een aantal duikers bleek onderliggend cardiaal lijden te hebben, bij een substantieel aantal bleek bij nadere evaluatie geen sprake van aantoonbare cardiale pathologie. Wel lijkt er een associatie te bestaan met pre-existente hypertensie, overgewicht, zware arbeid, te nauwe duikpakken en de temperatuur van het water. Alhoewel het mechanisme niet is opgehelderd, is er waarschijnlijk sprake van een intrapulmonaal probleem, waarbij er een relatieve onderdruk ontstaat in de alveoli (door de geforceerde ademhaling?) waardoor de intracapillaire vloeistof uittreedt en het beeld van longoedeem ontstaat. Ook zou hyperperfusie een door sommige longsegmenten een rol kunnen spelen. Het beeld zou dan analoog kunnen zijn aan het beeld dat gezien wordt bij uitputtende arbeid door goed getrainde zwemmers of marathonlopers, of aan het beeld dat gezien wordt bij High Altitude Pulmonary Edema (HAPE). Therapie bestaat in eerste instantie uit opstijgen, verwijderen van belemmerende uitrusting/kleding, en toediening van zuurstof. Patiënten moeten niet worden neergelegd doch zittend worden vervoerd naar een ziekenhuis. Aangezien er in eerste instantie meestal niet duidelijk is of er sprake is van onderliggende cardiale pathologie, zal longoedeem meestal worden behandeld volgens de hiervoor geldende richtlijnen, met toediening van zuurstof, diuretica, vaatverwijders en morfine. Indien na uitgebreid pulmonologisch en cardiaal onderzoek blijkt dat er geen sprake is van pulmonologische of cardiale problematiek, is er geen bezwaar om het duiken te hervatten. Wel dienen de thans gesuggereerde risicofactoren goed te worden behandeld en dient te zware arbeid in en onder water te worden vermeden. Gesuggereerd wordt het voorschrijven van Nifedipine vóór het duiken na doorgemaakt longoedeem bij het ontbreken van cardiale problematiek ter voorkoming van recidive. (24-27)

Shunts, congenitale hartziekten en PFO.

Een shunt is een directe verbinding tussen de systemische en pulmonale circulatie. Er zijn *links-rechts shunts*, waarbij met zuurstof gesatureerd bloed weer naar de pulmonale circulatie wordt gevoerd (bijvoorbeeld geïsoleerd VSD, open ductus Botalli), en *rechts-links shunts* waarbij ondergesatureerd bloed de systemische circulatie in gaat (bijvoorbeeld tetralogie van Fallot, bestaande uit pulmonalisklepstenose, overrijdende aorta, VSD en rechter ventrikel hypertrofie, waarbij het bloed uit de rechter ventrikel via het VSD het linker ventrikel bereikt) en bidirectionele shunts (bijvoorbeeld ASD, waarbij de shunt meestal van links naar rechts is maar onder sommige omstandigheden ook van rechts naar links kan optreden). Een *open foramen ovale (PFO)* vormt onder normale omstandigheden geen shunt. Door de iets hogere druk in het linker atrium vergeleken met het rechter atrium is het foramen ovale functioneel gesloten. De flap van het septum secundum ligt hierbij over de opening van het septum primum aan de kant van het linker atrium. Indien er echter drukverhoging optreedt in het rechter atrium kan het foramen ovale openen en een tijdelijke rechts-links shunt ontstaan. Bij pulmonale hypertensie kan de stroomrichting in een ASD omdraaien of een PFO zich openen.

Het belang van shunts voor het duiken is met name gelegen in de rechts-links shunts. In de decompressiefase van de duik zal stikstof vooral worden afgegeven aan het veneuze bloed. Dit zal gedeeltelijk in belvorm worden getransporteerd naar de longen. In geval van een rechts-links shunt zullen deze stikstofbellen in de systemische circulatie terecht kunnen komen. Dit kan lijden tot arteriële gas embolie (AGE), met name in de hersenen. Afhankelijk van de hoeveelheid bellen en de localisatie in de hersenen kunnen dan allerlei neurologische ziektebeelden ontstaan, zoals hemiplegie. De vraag is of ook decompressieziekte van het ruggenmerg met als gevolg partiële paraplegie hierdoor kan ontstaan. In het ruggenmerg lijkt vaak sprake te zijn van belvorming in de veneuze plexus en/of belvorming intracellulair in de vetrijke myeline cellen van de zij- en

achterstrengen. Een associatie tussen PFO en decompressieziekte van het ruggenmerg lijkt onwaarschijnlijk. (28-34)

Een intracardiale shunt kan worden aangetoond door een echocardiogram met contrast. Meestal wordt eerst een transthoracaal echo gemaakt (TTE) met contrast en het uitvoeren van de Valsalva manoeuvre, dit kan worden aangevuld met een trans-oesophageaal echo (TEE), met contrastmiddel en het uitvoeren van de Valsalva manoeuvre. Gezien het feit, dat een PFO bij ongeveer 30 % van de bevolking voorkomt en het optreden van DCS II (met name decompressieziekte met neurologische klachten) relatief zeldzaam is, is er geen indicatie om een screenend TEE te maken. Dit wordt gereserveerd voor duikers die een ernstige neurologische decompressieziekte hebben doorgemaakt zonder dat ze dit "verdiend" hebben, dat wil zeggen dat ze verantwoord hebben gedoken met inachtneming van tijds- en dieptelimiten. Alternatieven zoals een Trans Craniële Doppler met contrastmiddel (TCD) hebben, mede afhankelijk van het gebruikte contrastmiddel, meestal een lagere specificiteit en/of sensitiviteit voor wat betreft het aantonen van een PFO.(35, 36)

Bij alle cyanotische afwijkingen, waarbij dus per definitie een rechts-links shunt bestaat, is er een ongeschiktheid voor duiken. Een ASD maakt ongeschikt om te duiken. Een PFO na doorgemaakt AGE lijdt tot beperkte geschiktheid voor duiken. Pulmonale hypertensie (intravasaal gemeten systolische druk in de a pulmonalis van meer dan 25 mm Hg in rust en meer dan 30 mm Hg bij inspanning, bij echocardiografische meting meer dan 30 mm Hg in rust) veroorzaakt een ongeschiktheid voor duiken vanwege het toegenomen risico op rechts-links shunt. Een klein VSD en een persisterende ductus Botalli maken niet altijd ongeschikt om te duiken.

Een ASD of PFO kan gesloten worden middels cathetertechnieken ("parapluitje"). Er zijn duikers die erop aan dringen dit te laten verrichten na een doorgemaakte DCS II of AGE. Voor een goed advies hierover moet allereerst worden vastgesteld of er een aannemelijk verband is tussen de doorgemaakte decompressieziekte en het ASD of PFO. Voorts moet worden ingeschat of de kans op een recidief decompressieziekte hoog genoeg is om een procedure te rechtvaardigen, die immers ook zijn morbiditeit en zelfs mortaliteit kent. Daarnaast moet met de duiker worden besproken of het voortzetten van zijn hobby het risico van een dergelijke ingreep rechtvaardigt of dat het wellicht beter is te stoppen met duiken. (37)

Conclusie

Onderliggende cardiale problematiek levert een substantiële bijdrage aan de morbiditeit en mortaliteit bij duikongevallen. Bij de duikkeuring dient hieraan dan ook duidelijk aandacht besteed te worden. In dit hoofdstuk is beschreven in hoeverre bepaalde cardiale problematiek duikers meer of minder geschikt maken om te duiken. Bij twijfel of een vermoeden van verminderde geschiktheid tot duiken dient laagdrempelig te worden verwezen naar een cardioloog met duikgeneeskundige expertise.