

Barotrauma van het oor bij duikers

door E. Generaal^a, dr. J. Stins^b en kapitein ter zee-arts dr. R.A. van Hulst^c

Samenvatting

Duiken (SCUBA) is een populaire sport, maar niet zonder risico's. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste schadelijke effecten van duiken op het buiten-, midden- en binnenoor ten gevolge van te grote drukverschillen tussen de luchthoudende lichaamsholtes (barotrauma). Als de afdaling te snel wordt uitgevoerd of als het "klaren" (d.m.v. het tijdelijk openen van de buis van Eustachius) te geforceerd wordt uitgevoerd, kan er een barotrauma ontstaan, wat schade aan de structuren in het midden- en binnenoor tot gevolg kan hebben. Er zijn weinig prevalentiecijfers voorradig, maar uit onderzoek blijkt dat barotrauma van het middenoor frequenter voorkomt dan van het uitwendige oor en het binnenoor. Schade kan voorkomen worden door toepassing van drukregulatie door middel van de buis van Eustachius. Duikers moeten goed geïnformeerd worden over de risico's van het duiken en zouden standaard periodiek een medische keuring moeten ondergaan.

Inleiding

Duiken is een populaire sport die wereldwijd wordt beoefend. Een duiker is door middel van een onafhankelijk beademingsapparaat (SCUBA) in staat om onder water te ademen. De term SCUBA staat voor 'self-contained underwater breathing apparatus' en is in gebruik sinds 1943. Duikers die gebruik maken van een SCUBA, worden geadviseerd niet verder dan 40 meter diep te gaan. De Nederlandse Onderwatersport Bond (NOB; de nationale sportduikbond, <http://www.onderwatersport.org/>) heeft ongeveer 20.000 leden, daarnaast

wordt geschat dat er nog 100.000 mensen in Nederland zijn met een duikbrevet. Volgens de Professional Association of Diving Instructors (PADI; de grootste duiktrainingorganisatie ter wereld, <http://www.padi.com/scuba/>) zijn er wereldwijd meer dan 10 miljoen duikcertificaten uitgegeven. Hoeveel geregistreerde duikers ook daadwerkelijk actief zijn, is onbekend.

Aan het duiken zijn tal van risico's verbonden die te maken hebben met de fysiologisch andere omgeving waarin de duiker zich bevindt.

Een duiker moet rekening houden met onderkoeling, verdrinking, zuurstoftekort of intoxicatie, longproblemen en hartproblemen. Daarnaast kunnen er problemen met de gashuishouding optreden, zoals decompressieziekte, stikstofnarcose en problemen op het KNO (keel, neus, oor) gebied. De meest voorkomende problemen die een duiker ondervindt zijn meestal niet levensbedreigend en zijn het gevolg van grote drukveranderingen die optreden tijdens afdalen en opstijgen. De snel toenemende druk ten gevolge van afdalen kan leiden tot een zogenoemd barotrauma, wat we kunnen opvatten als weefschade ten gevolge van verschillen tussen de omgevingsdruk (het water) en de druk in de luchthoudende lichaamsholtes, zoals de longen, darmen, kiezen, voorhoofdholtes en het gehoororgaan. Een barotrauma kan leiden tot ernstige gezondheidsklachten, die echter vaak te voorkomen zijn door toepassing van de juiste duiktechniek. In dit artikel wordt stilgestaan bij aard, frequentie en preventie van schade aan het delicate gehoororgaan ten gevolge van een barotrauma. Allereerst wordt een casus gepresenteerd ter illustratie van de complexiteit van diagnose van barotrauma bij een duiker:

Drukregulatie in het oor

Het menselijke oor bestaat uit het uitwendige oor, het middenoor en het binnenoor (zie afb. 1). Het trommelvlies (tympaanic membrane/membrana tympani) vormt de scheiding tussen het uitwendige oor en het middenoor; het ovale venster (zie afb. 1: oval window) en het ronde venster (zie afb. 1: round window) vormen de scheiding tussen het binnen- en het middenoor. Het zwakste deel van het trommelvlies bestaat uit het *pars flaccida* (membraan van *Shrapnell*).

^a Masterstudente aan de Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam. Het artikel is een compilatie van de scriptie met gelijknamige titel ter afronding van de Bachelor Bewegingswetenschappen.

^b Docent-onderzoeker aan de Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam.

^c Duikerarts, Hoofd Maritiem Medisch Expertise Centrum (MMEC). Postadres: MMEC/Duikmedisch Centrum, Gebouw IJsdruiker, postbus 10.000, 1780CA Den Helder. Artikel ontvangen maart 2011.

CASUS 1

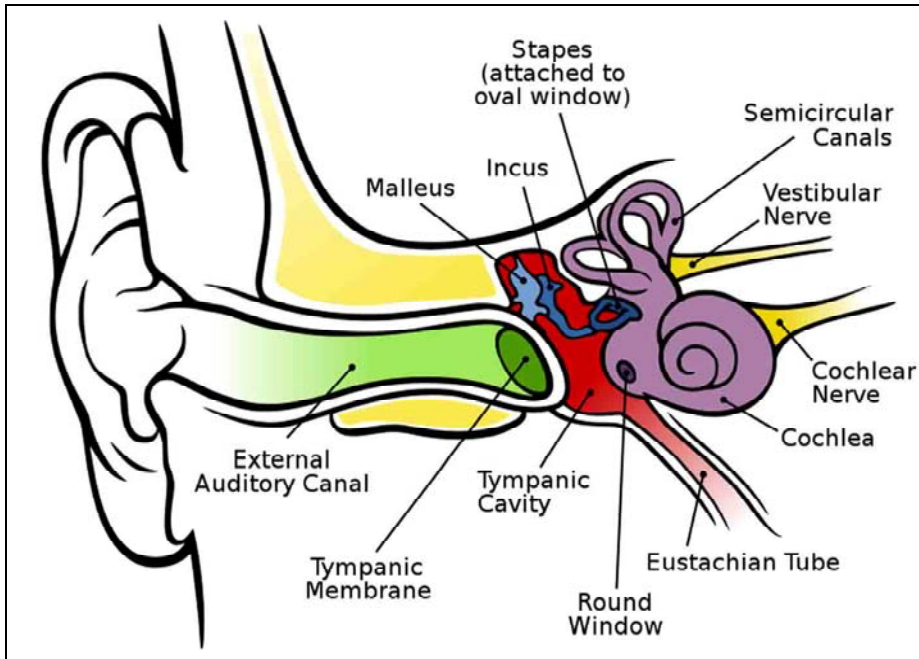
Een 22-jarige duiker van de Koninklijke Marine daalt, na 2 weken oefenen in het zwembad, af tot een diepte van 6 meter. Hij heeft moeite met het klaren van zijn oren omdat hij verkouden is. Met de nodige moeite lukt het om voldoende hard te klaren om de bodem te bereiken. Na 20 minuten op diepte te zijn verbleven, stijgt hij gecontroleerd op tot de oppervlakte. Hij meldt de aanwezige verpleegkundige dat hij een "vol gevoel" heeft aan het rechteroor. Er is geen sprake van pijn of duizeligheid. De verpleegkundige bekijkt het oor otoscopisch en stelt de diagnose middenoorsqueeze graad 3, d.w.z. dat er sprake is van een vaatinjectie over het gehele trommelvlies. Er is geen vrij vocht achter het trommelvlies en geen trommelvliesperforatie. De duiker krijgt het advies om de volgende dag voor het duiken even langs te gaan bij de verpleegkundige. In de vroege avond van dezelfde dag, circa 3 uur na de duik, heeft de duiker plotseling heftige klachten van draaiduizeligheid. Hij gaat naar bed. De volgende ochtend wordt de duiker naar de ziekenboeg gebracht. Hij vertoont nog steeds duizeligheidsklachten. Hij voelt zich tevens misselijk en is doof aan het rechteroor. Otoscopisch onderzoek laat nog steeds een geringe vaatinjectie zien aan het rechteroor. Het linkeroor is normaal. Er is verder geen nystagmus (onvrijwillige oogbewegingen). Coördinatie testen zijn staand niet mogelijk in verband met de duizeligheid. Bij het audiogram blijkt dat een gemengd verlies (lucht- en beengeleiding) gevonden wordt van 50 dB vanaf 2000 Hz.

De duiker wordt op verdenking van een binnenoorletsel doorgestuurd naar het Centraal Militair Hospitaal in Utrecht. Omdat er geen verbetering van de gehoorrest is binnen 36 uur en ook de duizeligheid blijft bestaan, wordt hij geopereerd. Er wordt een fistel gevonden van het rechter ovale venster, welke operatief wordt hersteld.

De duizeligheidsklachten van de duiker zijn voorbij, helaas resteert een gehoorsverlies rechts van 40 dB vanaf 3000 Hz. Zowel de operatie als het afwijkend audiogram is een afkeuringgrond voor het duiken.

Diagnose: perilymfatische fistel binnenoor (zie paragraaf 'Barotrauma van het binnenoor')

Bron: Maritiem Medisch Expertise Centrum/Duikmedisch Centrum. Koninklijke Marine, Ministerie van Defensie. Via R.A. van Hulst.



Afb. 1: Indeling van het perifere gedeelte van het gehoororgaan.

Bron: Wikimedia Commons.

Onderdeel van het middenoor zijn de gehoorbeentjes in de trommelholte (*cavum tympani*): hamer (*malleus*), aambeeld (*incus*) en stijgbeugel (*stapes*). De belangrijkste functie van deze beentjes is het omzetten van trillingen in de lucht naar trillingen in vloeistof (endolymfe) in het slakkenhuis (cochlea, zie afb. 1).

Het binnenoor bestaat uit halfcirkelvormige kanalen (semi circular canals/labyrint, zie afb. 1) en het slakkenhuis. In het slakkenhuis bevinden zich het membraan van Reissner en het basilair membraan (zie afb. 2). Deze membranen zijn belangrijk voor het goed functioneren van het orgaan van Corti (zie afb. 2), waar geluid wordt omgezet in een actiepotentiaal naar de gehoorzenuw en uiteindelijk naar de hersenen. Het middenoor is gevuld met lucht, en staat via de buis van Eustachius (*tuba eustachii/auditiva*, zie afb. 1) in verbinding met de keel, die weer in contact staat met de neusholte. Normaliter is deze buis van ongeveer 35 millimeter lang gesloten, maar deze kan tijdelijk worden geopend door aanspannen van de spier van het zachte verhemelte (*musculus tensor veli palatini*) om drukverschillen tussen de trommel- en de keelholte op te heffen.

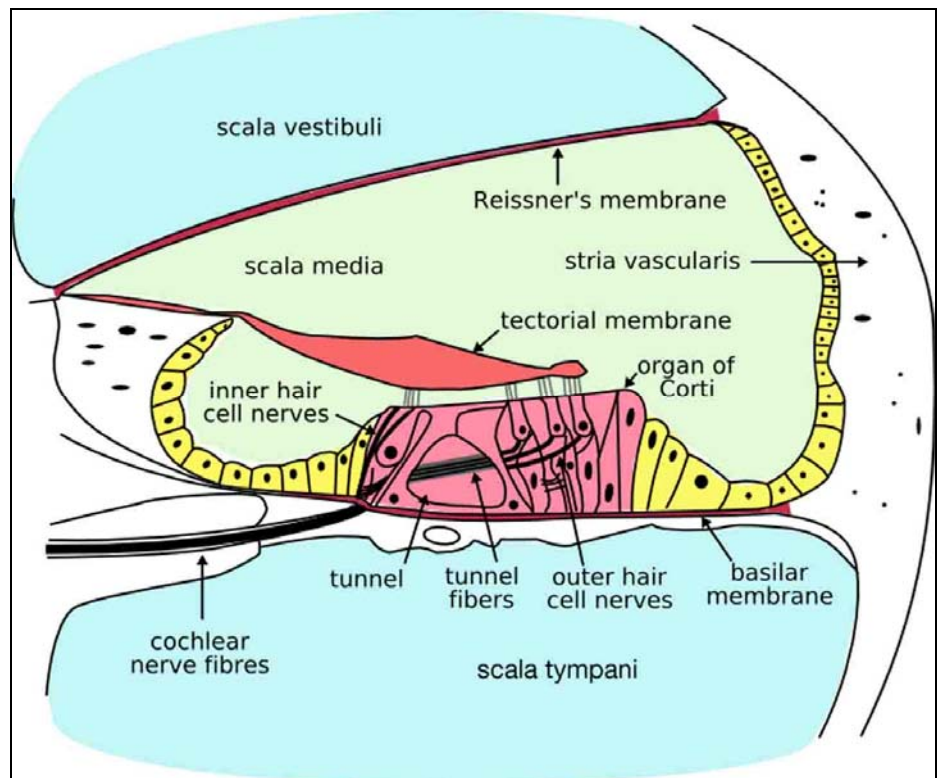
Drukregulatie in het oor bij duiken

Het lichaam van een duiker ondergaat een grote druktoename wanneer in het water wordt afgedaald. Volgens de algemene gaswet (wet van Boyle) is gasvolume proportioneel aan de druk. Tijdens de eerste 10 meter afdaling

vermindert het gasvolume in het middenoor met 50%¹. Normaliter wordt de afname in gasvolume opgevangen door de buis van Eustachius tijdelijk te openen ('equilibreren' of 'klaren')². Door de buis van Eustachius wordt lucht van de keelholte naar het middenoor geperst waarna de druk aan weerszijden van het trommelvlies weer gelijk is. Het volume van het middenoor is aan het landoppervlak ongeveer 5 mL. Op een diepte van 5 meter heerst een druk van 1.5 bar, zodat het

volume van het middenoor van 5 mL tot 3.3 mL wordt samengedrukt. Om deze druk te compenseren, moet door de buis van Eustachius 1.7 mL lucht het middenoor in worden geperst³. Als het openen van de buis van Eustachius tijdens de afdaling niet vanzelf plaatsvindt, kan men dit opwekken met behulp van speciale technieken. Enige klaringstechnieken worden door Bennett et al. en Edmonds et al. beschreven^{4,5}:

- Slikken en geeuwen; de natuurlijke manier voor het equilibreren van het middenoor.
- Willekeurig openen van de buis van Eustachius (*beance tubaire volontaire*, BTV) door een soort zenuwtrekking in de keel. Vooral professionele duikers zijn ervaren in deze techniek.
- Valsalva manoeuvre. Bij deze meest populaire techniek worden de neusgaten en met de vingers dichtgedrukt en de mond dicht de wangen opgeblazen door geforceerd uit te ademen totdat een opgevoeld gevoel in de oren is bereikt⁶. Deze techniek wordt over het algemeen het best begrepen door beginnende duikers⁵.
- Toynbee techniek, waarbij de duiker de mond en de neusgaten dichtdrukt en tegelijkertijd slikt.
- Frenzel techniek, waarbij de tong snel achterwaarts tegen het zachte gehemelte wordt bewogen. Deze techniek werkt het beste in



Afb. 2: Doorsnede van het slakkenhuis (cochlea) in het binnenoor.

Bron: Wikimedia Commons.

combinatie met het dichtknijpen van de neus en het is een goed alternatief op de Valsalva. Een tip bij het aanleren van de techniek is de duiker 'kick' te laten zeggen terwijl de neus wordt dichtgehouden.

- *Twitching*, waarbij de neus wordt dichtgeknepen en het hoofd vlug zijwaarts wordt geroteerd.
 - Een zijwaartse hoofdkanteling (met het 'slechte' oor omhoog).
 - Edmonds techniek, waarbij de kaak voorwaarts en naar beneden (als in het begin van een gaapbeweging) wordt uitgestoken.
 - Lowry techniek, een gecombineerde techniek waarbij men tegen de dichtgeknepen, geblokkeerde neus in blaast.
- Er wordt tegelijkertijd geslikt.
- Techniek m.b.v. het Otovent apparaat, dat bestaat uit een blaaspijpje en een ballonnetje. Oefening met dit apparaatje kan leiden tot verbetering van het klaren, vooral bij beginnende duikers. Het dient ter preventie/behandeling van middenoorontsteking en voorkomt negatieve druk in het oor ten gevolge van disfunctie van de buis van Eustachius.

Opgemerkt dient te worden dat een ervaren duikinstructeur, naast de bovengenoemde technieken, ook nog andere klaringstechnieken kan leren aan een duiker. Als het klaren van de oren echter mislukt, of als er te geforceerd wordt geklaard, kan er schade aan het uitwendige oor (*external ear barotrauma*; EEB), middenoor (*middle ear barotrauma*; MEB) of binnenoor (*inner ear barotrauma*; IEB) ontstaan. Enige symptomen van barotrauma kunnen zijn: oorpijn, duizeligheid en gehoorverlies. Barotrauma van het oor komt meestal voor tijdens dalen^{7,8}. Toename in druk in het binnenoor bij stijgen leidt namelijk vaak automatisch tot opening van de buis van Eustachius, waardoor de overtollige lucht kan ontsnappen. Barotrauma tijdens het stijgen is zeldzamer, maar komt wel degelijk voor. Wanneer men wel kan klaren bij dalen, maar niet bij stijgen, wordt dit een 'reversed block' genoemd.

Barotrauma van het oor bij duikers

Barotrauma van het uitwendige oor (EEB)

Brubbak et al. beschrijven dat er, naast problemen van het uitwendige oor door bijv. een exostose (benig uitwas van het bot) of een ontsteking (*otitis externa*), ook barotrauma van het

uitwendige auditieve kanaal kan ontstaan (zie afb. 1: auditory canal/*meatus externus*)⁹. Het is mogelijk dat het barotrauma het gevolg is van een ontsteking⁹. De oorzaak van EEB is meestal compressie van lucht tussen het trommelvlies en een afsluitend voorwerp in de gehoorgang (bijv. oorsmeer, oordoppen of een te strakke hoofdkap). Dit kan leiden tot een buitenwaartse beweging van het trommelvlies, die gevoelens van pijn teweeg kunnen brengen. De duiker kan de pijn ten onrechte toewijzen aan het onvoldoende kunnen klaren van het middenoor en zodoende een krachtige Valsalva manoeuvre uitvoeren, wat weer een scheuring van het trommelvlies kan veroorzaken. De verhoogde capillaire druk in de huid van het auditieve kanaal wordt meestal niet gecompenseerd door de druk in de luchtholte (*meatus externus*) en kan zo vasodilatatie, oedeemvorming en/of een subepithelale bloeding veroorzaken, wat weer vorming van hemorrhagische bullae (bloedbellen) tot gevolg heeft. Dit kan vervolgens leiden tot een scheuring of bloeding in de *meatus externus*. Het blijkt dat er vanaf een drukgradiënt van 150 mm Hg tussen het water en de lucht (bij een diepte van ongeveer 2 meter) in een geblokkeerd extern auditief kanaal al problemen kunnen optreden⁵. De symptomen van EEB zijn pijn, een 'vol gevoel' in het oor, een 'afgesloten gevoel' van het oor of gehoorverlies.

Barotrauma van het middenoor (MEB)

Schade aan het middenoor ten gevolge van een barotrauma is het meest voorkomende medische probleem bij duikers⁵. MEB uit zich in een bloeding of scheur van het trommelvlies. Schade aan het trommelvlies kan uiteenlopen van licht ongemak tot een gescheurd trommelvlies³, met als gevolg kans op geleidingsdoofheid. Een trommelvliesscheur geneest meestal binnen enkele weken, met voldoende rust. Als het 'klaren' op een diepte van 1.2 meter mislukt, kan de drukgradiënt tussen middenoor en de nasale holte oplopen tot 90 mm Hg³. Bij een grotere diepte zal het verschil nog verder oplopen en wordt het bovendien moeilijker de buis van Eustachius te openen. Het scheuren van het trommelvlies kan plaatsvinden bij een drukgradiënt van 100 tot 500 mm Hg⁶, wat gelijk staat aan een diepte van 1.3 tot 5.3 meter onder water. Een scheuring treedt meestal op in het membraan van *Shrapnell*, aangezien het vlies hier het dunste is

en niet wordt beschermd door de achterliggende gehoorbeentjes. Een scheuring is echter zeldzaam⁵. Meestal buigt het trommelvlies naar binnen, wanneer er ten opzichte van de omgeving een onderdruk is in het middenoor. Dit resulteert in een inwaartse verplaatsing van de keten van gehoorbeentjes¹⁰, die op hun beurt tegen het binnenoor (slakkenhuis en labyrint) aandrukken, wat een pijnlijk en duizelig gevoel teweeg kan brengen.

Factoren die kunnen leiden tot blokkade van de buis van Eustachius zijn respiratoire infecties en allergieën, alcoholconsumptie, *mucosal polyps* (abnormale weefselvorming in het slijmvlies), te snelle afdaling in het water, plotse verandering van lichaamspositie (vanuit een positie rechtop) en roken. Roken is overigens vooral beschreven als risicofactor voor decompressieziekte¹¹. MEB tijdens stijgen gaat meestal vooraf aan milde MEB tijdens dalen of het gebruik van nasale decongestiva (bijv. neusdruppels). De gemeenschappelijke factor tussen MEB bij dalen en MEB bij stijgen is in ieder geval dat er een verstopping optreedt en daardoor de buis van Eustachius blokkeert, bij dalen aan de mediale zijde en bij stijgen aan de laterale zijde.

Barotrauma van het binnenoor (IEB)

IEB komt minder frequent voor dan MEB maar leidt vaak wel tot permanente weefselschade¹. De symptomen van IEB zijn acute duizeligheid, hoofdpijn, vertigo, tinnitus (oorsuizen) en gehoorverlies¹⁰. Vaak kunnen deze symptomen zich pas later ontwikkelen waardoor mogelijk in de eerste instantie een verkeerde diagnose wordt gesteld (zie casus 1). Er zijn twee verklaringen omtrent IEB⁵. Volgens het eerste mechanisme wordt het trommelvlies inwaarts gebogen door de drukverschillen. Vervolgens wordt ook de plaat van de stijgbeugel inwaarts gedrukt wat een verplaatsing van het perilymfe door de helicotrema (het uiterste puntje van de cochlea, waar de scala vestibuli en de scala tympani met elkaar in verbinding staan, zie afb. 2) teweeg brengt. Hierdoor buigt het membraan van het ronde venster weer naar buiten. Als op dit moment een krachtige Valsalva zal worden uitgevoerd, zal het trommelvlies terugkeren naar de normale positie en geldt het tegenovergestelde: de stijgbeugel beweegt naar buiten en het ronde venster naar binnen. Het is mogelijk

dat de terugkerende flow van perilymfie niet genoeg is om schade van de binnenostructuren te voorkomen. Als gevolg van IEB kan schade ontstaan aan bloedvaten of een scheur van het membraan van Reissner of van het basilair membraan (zie afb. 2)⁷, wat weer kan resulteren in gehoorverlies^{1,3}. De andere verklaring voor IEB is dat er een drukgolf van het cerebrospinale vocht door het *cochlear aqueduct* loopt tijdens de Valsalva manoeuvre, die het ronde venster naar buiten richting het middenoor 'blaast'. De voornaamste oorzaak van een barotrauma aan het binnenoor blijkt een niet goed geventileerde trommelholte^{1,12}. Er kunnen drie soorten IEB worden onderscheiden: bloedingen, een scheur in het labryntmembraan of een *perilymfatische fistel* (PLF)⁷. De bloedingen vinden meestal plaats in het slakkenhuis en kunnen sensorineuraal gehoorverlies van hoge frequenties (4000-8000 Hz) tot gevolg hebben⁵. De scheur kan zich hebben ontwikkeld in het ronde of in het ovale venster. Een scheur in het ronde venster komt vaker voor dan een scheur in het ovale venster, aangezien het ovale venster nog beschermd kan worden door de plaat van de stijgbeugel en ligamenten⁷. Bij het optreden van PLF (zie casus 1) heeft zich een abnormale opening (scheur) gevormd tussen het met lucht gevulde middenoor en het met vloeistof gevulde binnenoor, waardoor perilymfie weg kan lekken naar het middenoor, hetgeen kan resulteren in acute doofheid. De abnormale opening is meestal het gevolg van een gedислоceerde stijgbeugel of een scheur in een venster⁷.

Frequentie van duikgerelateerde KNO-aandoeningen

Hoewel het werkingsmechanisme van barotrauma goed begrepen is, is er weinig bekend over de prevalentie van verschillende klachten bij duikers. Een reden hiervoor is dat veel duikers met hun klachten bij een huisarts of specialist te rade gaan en dat er nauwelijks sprake is van centrale registratie. Een belangrijke uitzondering wordt gevormd door de universitaire KNO-kliniek te Heidelberg. Dit instituut geniet grote bekendheid onder duikers en de patiënten komen van ver voor diagnose of behandeling in het instituut. Er worden met name patiënten met ernstige KNO-gerelateerde klachten, waaronder barotrauma, behandeld. Aan de hand van de gegevens van het instituut kan weliswaar niet de prevalentie van

KNO-aandoeningen worden bepaald binnen de standaard duikpopulatie, maar er kan wel worden bepaald of sommige klachten vaker voorkomen dan andere bij duikers met KNO-aandoeningen.

Uit een onderzoek¹³ gedaan onder 306 duikers, die met diverse duikgerelateerde klachten bij het instituut kwamen, bleek dat het kleinste deel van de duikers (8%) problemen ondervond met het uitwendige oor, het grootste deel (46%) met het middenoor en een 18% met het binnenoor. De rest van de patiënten vertoonden barotrauma van de sinus, decompressieziekte of andere symptomen. Bij de middenoorpatiënten waren MEB (11%) en middenoorziekte (9%), zoals atrofie van het trommelvlies of otosclerose, de meest voorkomende diagnoses. De meest voorkomende klacht van de 140 middenoorpatiënten bleek disfunctie van de buis van Eustachius (24%)¹³. De problemen van het middenoor kwamen zowel voor bij professionele als bij beginnende duikers. Uit ander onderzoek⁶, bleek bij bijna de helft van de 31 onderzochte sportduikers, na het uitvoeren van in totaal 774 duiken (met een mediaan van 25), MEB te zijn opgetreden. In deze studie⁶ werden de duikers zowel direct voor als na de uitvoer van de duiken onderzocht op de functie van de buis van Eustachius. Uit de studie bleek dat er een verband is tussen het slecht kunnen equilibreren en de kans op MEB na het duiken. Het mislukken van het actief openen van de buis van Eustachius wordt dus gezien als risicofactor voor MEB⁶. Uit deze studies blijkt dus dat problemen met de ventilatie van de buis van Eustachius zowel veroorzaker als gevolg kunnen zijn van MEB^{6,13}.

Alternobarisch vertigo (AV) is een symptoom waarbij de druk in de trommelholte tussen de twee zijden asymmetrisch verandert, zodat in het ene middenoor een andere druk heerst dan in het contralaterale middenoor¹⁴. De asymmetrische drukverschillen in het middenoor worden via het ovale en het ronde venster doorgegeven aan het binnenoor en aan het evenwichtsorgaan¹⁵. Dit veroorzaakt duizeligheid en verlies van oriëntatie^{14,15}. AV komt zowel bij MEB als bij IEB voor, maar voornamelijk bij MEB tijdens het stijgen⁵. AV is per definitie voorbij wanneer wordt teruggekeerd naar het wateroppervlak, anders is er sprake van een andere

aandoening. Het percentage duikers dat AV bleek te vertonen loopt in de literatuur uiteen van 16 tot 30%^{1,13,14,16,17}.

Schade aan het binnenoor is minder frequent, maar kan ten gevolge van blijvende duizeligheid tot gevaren leiden. In een cross-sectioneel onderzoek¹⁸ werden 60 ervaren sportduikers (allen zonder een geschiedenis van IEB) vergeleken met een controlegroep van 63 niet-duikers. Alle proefpersonen werden m.b.v. otoscopie, tympanometrie en toonaudiometrie onderzocht. Verrassend genoeg bleken er geen significante verschillen voor de gehoor testen van het binnenoor tussen de twee groepen te zijn, terwijl in vergelijkbare studies vaak wel functieverlies van het binnenoor bij duikers werd geconstateerd. Volgens de auteurs is de verklaring dat professionele duikers veelal in een omgeving werkzaam zijn met sterk verhoogde geluidsniveaus, zoals het leger of de industrie. Zo worden duikers vaak ingezet om reparaties onder water uit te voeren. Geluidsgolven die zich in water voortplanten worden minder gedempt dan geluidsgolven door de lucht, zodat de impact van geluid ten gevolge van bijv. boren en zagen onder water groter is en dus eerder tot gehoorschade kan leiden. Met andere woorden, bij onderzoek naar gehoorschade bij duikers moet rekening worden gehouden met mogelijke "confounds", zoals verhoogde geluidsniveaus bij de beroepsuitoefening.

Verschillen tussen duikers onderling

De kans op gehoorproblemen in midden- en binnenoor ten gevolge van duiken hangt onder andere samen met de leeftijd en het geslacht van de duikers. Uit onderzoek¹³ bleek dat onervaren (of beginnende) duikers grotere kans hadden op KNO-gerelateerde klachten dan ervaren (of gevorderde) duikers. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat onervaren duikers logischerwijs minder diepe duiken mogen uitvoeren. Tijdens de eerste 10 meter afdaling is het verschil in de omgevingsdruk in relatie tot de volumeafname in de met lucht gevulde ruimten van het gehoorsysteem het grootst, wat het equilibreren lastig maakt en tot KNO-gerelateerde problemen kan leiden⁷. Bovendien wordt wel beweerd dat jongere duikers een nog niet optimaal functionerende buis van Eustachius hebben¹³.

Verder vertonen vrouwelijke duikers significant vaker MEB dan mannen¹³. Ook hebben vrouwelijke duikers vaker problemen bij het klaren van het middenoor en daarom vaker last van AV dan mannelijke duikers¹⁵. Mogelijk heeft de slechtere equilibratie van het middenoor bij vrouwen in vergelijking met mannen te maken met een verschil in de hormoonhuishouding of met een verschil in de toegepaste duiktechniek. Volgens Taylor¹⁹ neemt in ieder geval de kans op decompressieziekte toe wanneer gedoken wordt tijdens de menstruatie, doordat de perifere bloedstroming verandert. Bovendien werkt het hormoon progesteron, waarvan het niveau tijdens de menstruatie laag is, ontstekingsremmend. Premenstrueel mucosal congestion (premenstruele ophoping van bloed in het baarmoederslijmvlies) wordt tevens gezien als een van de risicofactoren voor blokkade van de buis van Eustachius¹¹. Voor meer duidelijkheid omtrent de invloed van de hormoonhuishouding op KNO-gerelateerde duikaandoeningen zal echter nog meer onderzoek moeten worden gedaan.

Preventie

Gedrag duiker

Duikers moeten goed geïnformeerd worden over de risico's van duiken en bedacht zijn op symptomen zoals duizeligheid en pijn en problemen met klaren. Zodra een duiker symptomen ervaart die kunnen duiden op aankomend barotrauma moet hij de duik onderbreken. Aangezien vaak in groepjes wordt gedoken kunnen duikers geneigd zijn symptomen te negeren om de groep niet tot last te zijn. Het is verder zaak om het duiken af te raden bij infecties van de luchtwegen⁷ of bij allergische reacties (bijv. hooikoorts), aangezien dan het klaren via de buis van Eustachius wordt belemmerd door ontstoken slijmvlies in de bovenste luchtwegen. Onderzoekers stellen dat tijdens de afdaling meerdere malen geëquilibreerd zou moeten worden, eventueel met gebruik van een speciale klaringstechniek. Wanneer iemand wordt opgeleid tot duiker moet hij/zij minstens de Valsalva, Toynbee, Lowry of Edmonds techniek van klaren kunnen uitvoeren. Wanneer klaringproblemen worden ondervonden, moet de duiker het advies krijgen om de meest succesvolle klaringstechniek een paar keer per dag te oefenen voordat hij aan de duikopleiding begint⁵. Sommige

klaringstechnieken hebben echter als nadeel dat de verhoogde druk zich naar de borstkas kan uitbreiden. Deze technieken zijn dus het meest geschikt voor mensen die problemen hebben met de 'auto-inflatie' van het middenoor. Andere klaringstechnieken (bijv. BTV) zijn geschikt als gemakkelijk en frequent auto-inflatie van het middenoor plaatsvindt. Deze technieken zorgen voor het passief gelijk maken van de druk of produceren negatieve druk in het middenoor. Ervaren duikers gebruiken minder druk bij de auto-inflatie van het middenoor dan beginnende duikers. Tevens kunnen meerdere klaringstechnieken gecombineerd worden⁵. De aanbevelingen voor het aantal equilibraties voor de eerste 5 meter afdaling lopen uiteen van om de 0.3 meter tot 0.6 meter^{2,13}. Voor verdere afdaling tot een diepte van ongeveer 9 meter wordt aanbevolen de manoeuvre om de 0.9 meter te herhalen².

Medische keuring

Ter preventie van gehoorproblemen wordt aanbevolen duikers jaarlijks een herhaalde medische beoordeling te laten ondergaan¹³. In Nederland geldt dat bij de NOB aangesloten duikers een keuring dienen te ondergaan voorafgaand aan de eerste duik. Vervolgens wordt driejaarlijks een herkeuring uitgevoerd. Wanneer de duiker de leeftijd van 50 passeert, wordt de herkeuring jaarlijks uitgevoerd (NOB).

In Nederland zijn meerdere sportartsen of duik(er)artsen werkzaam die een dergelijke keuring aanbieden. De meesten zijn aangesloten bij de Nederlandse Vereniging voor Duikgeneeskunde (<http://www.duikgeneeskunde.nl/>) of bij de Vereniging voor Sportgeneeskunde (<http://www.sportgeneeskunde.com/>). De sportartsen keuren het merendeel van de Nederlandse duikers. Bij onderzoek van het oor wordt in de anamnese gevraagd naar gehoorproblemen of andere aandoeningen van het oor. Het trommelvlies wordt geïnspecteerd. Alleen als de keuring adequaat klaart, wordt hij/zij goedgekeurd. Bij doofheid volgt een audiogram, een simpele subjectieve gehoortest, waarbij de gevoeligheid van het oor wordt getest voor (pure) tonen (toonaudiogram) of woorden (spraakaudiogram). Als er problemen bij de anamnese of bij het onderzoek worden ontdekt, kan men worden doorverwezen naar een KNO-arts. Een KNO-arts kan

geavanceerdere objectieve gehoortests uitvoeren. Een voorbeeld hiervan is tympanometrie, waarbij duikers worden gecontroleerd op de beweeglijkheid en de stabiliteit van het trommelvlies; immers een onstabiel trommelvlies vergroot de kans op het scheuren ervan⁸. Daarnaast zijn er ook andere objectieve gehoortests: BERA (Brainstem Evoked Response) en de OAE (Oto-Akoestische Emissies). Bij de BERA wordt gebruik gemaakt van hersenstamaudiometrie en krijgt de persoon via een hoofdtelefoon geluiden aangeboden terwijl, via elektrodes op zijn hoofd, gekeken wordt welke hersenactiviteit dit oplevert²⁰. Op deze manier wordt de hoordrempel in de hoge tonen, die erg van belang zijn voor het verstaan van spraak, benaderd. Bovendien kunnen er stoornissen in de cochlea en de gehoorzenuw (zie afb. 1: cochlear nerve) aan het licht komen. De OAE is een test die bij het geven van een stimulus het terugkerende signaal uit het oor meet. Het produceren van een geluid door het oor hangt samen met de functie van de haarcellen, liggende op het basilair membraan (zie afb. 2) van het binnenoor. Deze test kan dus met name nuttig zijn voor het aantonen van de functie van de cochlea (zie afb. 1 en 2). Met behulp van otoscopie kan de gehoorgang en het trommelvlies, met behulp van een oortrechter, grondig worden onderzocht²⁰. De ventilatie van de buis van Eustachius kan tevens met behulp van sonotubometrie worden onderzocht⁶. Sonotubometrie, waarbij de transmissie van energie van neus naar oor wordt gemeten, is een vrij nieuwe en geschikte methode om intra-individuele verschillen in de ventilatie van de buis van Eustachius te bepalen²¹. De meeste keurende artsen zullen alleen de simpele gehoortesten tot hun beschikking hebben. Het is zaak dat zij het trommelvlies, inclusief het membraan van *Shrapnell*, goed inspecteren. Wanneer het vermoeden van een aandoening bestaat, is het raadzaam dat de duiker door de keurende sport- of duikerarts wordt doorverwezen naar een specialist (KNO-arts).

Conclusie

Barotrauma van het uitwendige oor, midden- of binnenoor tijdens of na het duiken uit zich meestal in klachten van oorpijn, duizeligheid en gehoorverlies. Barotrauma is goed te voorkomen als de veiligheidsinstructies (en klaringstechnieken) worden nageleefd

en als gehoortesten vooraf geen aanleiding tot zorg geven. Als toch barotrauma optreedt, dan zullen de klachten in veel gevallen verdwijnen met voldoende rust^{7,8}. In ernstige gevallen kan tot een chirurgische ingreep worden overgegaan, zoals tympanoplastiek (reparatie van het trommelvlies) of een operatie aan het dieper gelegen binnenoor. Bijna alle onderzoekers benadrukken het belang van een goed functionerende buis van Eustachius en leggen een verband tussen slechte drukregulatie en problemen in het midden- en binnenoor.

De afgelopen decennia is het aantal duikers fors toegenomen, maar er is weinig bekend over aard en frequentie van duikgerelateerde klachten. Het zou raadzaam zijn een grote groep sportduikers in een longitudinaal onderzoek te volgen en herhaaldelijk te onderzoeken op de functie van het gehoorsysteem, zodat objectieve gegevens beschikbaar komen. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden om training en instructies van duikers aan te scherpen.

SUMMARY

EAR BAROTRAUMA IN SCUBA DIVERS

SCUBA diving is a popular sport, but not without risks. In this article an overview is given of the main harmful effects of SCUBA diving on the external, middle and inner ear due to too great pressure differences between the air-filled cavities (barotrauma). If the descent takes place too rapidly or

if "equalizing" (by opening the Eustachian tube temporarily) is done with too much force, then barotrauma may occur which can cause damage of the structures in middle and inner ear. Only few prevalence figures are available, but evidence suggests that middle ear barotrauma occurs more frequently than inner ear barotrauma. Damage can be prevented through the use of pressure regulation via the Eustachian tube. Divers must be well informed about the risks of diving and should take a medical test standard periodically.

Referenties:

1. Klingmann C., Praetorius M., Baumann I., Plinkert P.: Barotrauma and decompression illness of the inner ear: 46 cases during treatment and follow-up. *Otol Neurotol.* 2007;28:447-454.
2. Graver D.: Scuba diving. *Human Kinetics*, 2003.
3. Strutz J.: Otorhinolaryngologic disorders associated with diving [Article in German]. *HNO* 2008;56:499-508.
4. Bennett P.B., Cronjé F.J., Campbell E.S.: Assessment of diving medical fitness for scuba divers and instructors. Best publishing company, 2006.
5. Edmonds C.: Ear, sinus and other barotrauma uit: C. Edmonds, C. Lowry, J. Pennefather, R. Walker (eds.) *Diving and Subaquatic Medicine*. 3d ed: Hodder Arnold, 2005.
6. Uzun C.: Evaluation of pre-dive parameters related to eustachian tube dysfunction for symptomatic middle ear barotrauma in divers. *Am J Otol.* 2005;26:59-64.
7. Becker G., Parell G.: Barotrauma of the ears and sinuses after scuba diving. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2001;258:159-163.
8. MacMullin A.: Scuba diving: what you and your patients need to know. *Cleve Clin J Med.* 2006;73:711-721.
9. Brubakk A.O., Neuman, T.S.: Otorhinolaryngological aspects of diving uit: Bennett and Elliott's *Physiology and medicine of diving*. 5th ed: W.B. Saunders, 2007.
10. Macdiarmid J., Ross J., Taylor C., Watt S., Adie W., Osman L. et al.: Co-ordinated investigation into the possible long term health effects of diving at work. Examination of the long term health impact of diving: The ELTHI diving study, 2004. Health & Safety Executive. HSE books.
11. Buch D.A., Moalem H., Dovenbarger J.A., Uguccioni D.M., Moon R.E.: Cigarette smoking and decompression illness severity: a retrospective study in recreational divers. *Aviat Space Environ Med.* 2003;74(12):1271-4.
12. Shupak A.: Recurrent diving-related inner ear barotrauma. *Otol Neurotol.* 2006;27:8.
13. Klingmann C., Praetorius M., Baumann I., Plinkert P.: Otorhinolaryngologic disorders and diving accidents: an analysis of 306 divers. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2007;264:1243-1251.
14. Uzun C., Yagiz R., Tas A. et al.: Alternobaric vertigo in sport SCUBA divers and the risk factors. *J Laryngol Otol.* 2003;117:854-60.
15. Klingmann C., Knauth M., Praetorius M., Plinkert P.: Alternobaric vertigo - really a hazard? *Otol Neurotol.* 2006;27:1120-1125.
16. Gonnermann A., Dreyhaupt J., Praetorius M., Baumann I., Plinkert P., Klingmann C.: Otorhinolaryngologic disorders in association with scuba diving [Article in German]. *HNO* 2008;56:519-523.
17. Goplen F.K., Grønning M., Aasen T., Nordahl S.H.G.: Vestibular effects of diving - a 6-year prospective study. *Occup Med.* 2010;60:43-48.
18. Klingmann C., Knauth M., Ries S., Tasman A.: Hearing threshold in sport divers, is diving really a hazard for inner ear function? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004;130:221-225.
19. Taylor, M.B.: Women in diving uit: Bove and Davis' *Diving Medicine*. 4th ed: W.B. Saunders, 2004.
20. www.oorzaken.nl
21. Heerbeek N., Avoort S., Zielhuis G., Cremers C.: Sunotubometry, a useful tool to measure intra-individual changes in eustachian tube ventilatory function. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007;133(8):763-766.