

Duikgassen voor recreatief duiken

Van: Harmen Thys Nieuwenhuis

Van1: Harmen_Thys_Nieuwenhuis@McKinsey.com

Date: 03 jan 2000

Time: 09:08:07

Opmerkingen: <http://www.duik.net/artikelen/berichten/00000183.htm>

Door Harmen Thys Nieuwenhuis met dank aan Jos Havekotte en Menno Gaastra.
Duikgassen

Inleiding Het standaard duikgas wat bij het sportduiken gebruikt wordt is Perslucht. Perslucht is niets meer dan de lucht om ons heen die gefilterd, om vocht, stof en andere eventuele vervuilingen er uit te halen, en samengeperst wordt. Perslucht bestaat voor ongeveer 20,9% uit zuurstof en voor 78,1% uit stikstof, daarbij zitten er nog wat andere gassen in het mengsel zoals Argon en Kooldioxide maar dit zijn zulke kleine hoeveelheden dat we die als niet noemenswaardig beschouwen. Echter steeds vaker komen we andere gassen en mengsels tegen afkomstig uit het wetenschappelijk duiken en het technisch duiken, een belangrijke trend is het duiken met Nitrox. Op zoek naar meer veiligheid en nieuwe limieten worden steeds meer mengsels geïntroduceerd in het sport- en technisch duiken. Het gebruik van andere gassen kan grensverleggend zijn, d.w.z. grotere dieptes zijn mogelijk op een veilige manier. Vele effecten van gassen, die veroorzaakt worden door de hogere druk onder water, zijn niet te voorkomen maar kunnen wel minimaal gehouden worden door voldoende kennis over, de juiste keuze en gebruik van dat gas en het te duiken profiel. In het volgende artikel wil ik graag alle gassen, die je tegenwoordig tegen kunt komen bij het duiken, op een begrijpelijke manier beschrijven.

1 Zuurstof - O₂ Zuurstof is het enige gas dat je absoluut nodig hebt bij duiken. Andere gassen hebben alleen maar negatieve invloeden, die echter vaak te prefereren zijn boven die van O₂ onder een hoge druk. Ademen is nodig om O₂ binnen te krijgen en CO₂ kwijt te raken. 1-1 Te veel (Hyperoxie) Blootstelling aan een verhoogde partiële O₂ druk (ppO₂) voor langere tijd veroorzaakt een aantal vergiftigings effecten. O₂ vergiftiging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het ontstaan van vrije radicalen, die enzymen en celmembranen aan kunnen tasten. Dit proces wordt tegen gegaan door beschermende mechanismen totdat de O₂ 'stress' te hoog is en/of te lang duurt. Vanaf een ppO₂ van 0.5 bar kan er vergiftiging ontstaan bij de longen. Dit begint met irritatie en verergert totdat iedere ademhaling pijnlijk is. Hoesten kan na verloop van tijd niet meer onderdrukt worden en er kan kortademigheid ontstaan. Dit kost echter vele uren van blootstelling en is dus niet gebruikelijk voor sportduiken. O₂ heeft ook invloed op de hersenen. De gebruikelijke en nogal gevaarlijke uiting van vergiftiging daar is stuiprekkingen gevolgd door bewusteloosheid. Dit kan al plaatsvinden vanaf zo'n 1.6 - 2.0 bar, maar kan ook bij een lagere druk ontstaan indien er arbeid verricht wordt, vooral onder water, en bij een verhoogde hoeveelheid CO₂ in het lichaam. Het koud hebben en bibberen is ook arbeid verrichten, tevens is koude op zich ook een uitlokkende factor evenals erge warmte. Verdrinkingsgevaar kan tegengegaan worden door het gebruik van een volgelaatsmasker. Soms worden de stuiprekkingen vooraf gegaan door kleine zenuwtrekkingen in het gezicht, de lippen of de handen. Bij hoge drukken (2.5 - 3.0 bar) kan er verder een verminderd gezichtsveld, misselijkheid, duizeligheid, piepende oren, onregelmatige ademhaling, vermoeidheid, verwarring en angst ontstaan. Herstel van effecten, die verband houden met de hersenen, vindt plaats binnen enkele minuten, nadat de ppO₂ weer normaal is. Zelfs na stuiprekkingen kost herstel slechts zo'n half tot één uur. Zonder overmatige blootstelling wordt schade vermoedelijk zodanig hersteld dat herhaalde blootstelling geen gevaar voor blijvende effecten heeft. Over het algemeen wordt een maximale druk van 1.4 tot 1.6 bar aangehouden voor veilig gebruik. Voor rebreathers is 1.2 tot 1.45 bar zeer gebruikelijk, waarbij de blootstelling enkele uren kan zijn. Bij gebruik van een rebreather kan tijdens een snelle afdaling de ppO₂ boven de ingestelde waarde komen, sommige rebreather duikers gebruiken deze hoge ppO₂ om er een decompressie voordeel mee te doen d.m.v. de Scamahorn slide. Dit is een techniek waarbij de hoge ppO₂ weggeademd wordt tot het setpoint van b.v. 1,2 weer bereikt is. Gebruik van pure O₂ kan decompressie stops flink versnellen. Bij lange decompressiestops met een ppO₂ van 1.6 wordt er af en toe een paar minuten Nitrox of gewone perslucht geademd z.g.n. "air-breaks"

om de schadelijke gevolgen te beperken. Het is theoretisch mogelijk, maar zeer onwaarschijnlijk, om decompressieziekte symptomen te krijgen vanwege de O₂ die opgelost is in de weefsels. Dit duurt natuurlijk niet langer dan totdat alle O₂ gebruikt is.

1-2 De O₂ klok Een methode om bij te houden hoeveel O₂ onder hoge druk nog geen problemen gaat geven is gebruik van de zogenaamde O₂ klok. Bij ademen van O₂ boven een druk van 0.5 bar begint de klok te tikken. Er zijn twee klokken. De ene is voor blootstelling van de hersenen aan O₂ en werkt als volgt. Toegelaten tijden bij een bepaalde ppO₂ zijn te vinden in onderstaande tabel.

ppO ₂ (bar)	Maximale tijd (min)	0.6	720	0.7	570	0.8	450	0.9	360	1.0	300	1.1	240	1.2	210	1.3	180	1.4	150	1.5	120	1.6	45
------------------------	---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Ademen van O₂ met een druk van 1.5 bar voor 11/2 uur betekent dat 75% van de O₂ klok gebruikt is.

Door zo'n berekening voor alle verschillende dieptes en tijden tijdens de duik te doen kan het totale percentage berekend worden. Ieder oppervlakte interval van 90 minuten halveert het percentage op de O₂ klok. Aangeraden wordt per dag niet meer dan 80% te bereiken.

De andere klok is voor blootstelling aan de longen van O₂ en werkt als volgt. De toegestane blootstelling wordt gemeten in zogenaamde OTUs, Oxygen Tolerance Units of UPTDs, Units of Pulmonary Toxicity Doses. 1 OTU (of 1 UPTD) komt overeen met het ademen van pure O₂ bij 1 bar gedurende 1 minuut. Voor andere drukken kan de dosis in aantal OTU's als volgt berekend worden. waarbij t de tijd in minuten is. Dit is een experimenteel resultaat. Toegestane doses staan in onderstaande tabel.

Tijd(dagen)	dosis per dag(OTU)	Totale dosis(OTU)	1	850	850	2	700	1400	3	620	1860	4	525	2100	5	460	2300	6	420	2520	7	380	2660
-------------	--------------------	-------------------	---	-----	-----	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------	---	-----	------

Bijhouden van de O₂ klok is over het algemeen niet van belang bij gebruik van lucht in een sportduik situatie. 4

1-3 Te weinig zuurstof (Hypoxia) Beneden een ppO₂ van 0.12 bar kan het lichaam bijna geen O₂ meer opnemen. Een gasmengsel onder een druk van 1 bar moet 16% O₂ bevatten om prettig te kunnen ademen. Lucht bevat 20.9% O₂. Te weinig O₂ verhindert de normale werking van cellen. Vooral de hersenen zijn erg gevoelig. Hypoxia kan beginnen met bewusteloosheid als de ppO₂ plotseling lager is dan 0.1 bar. Een trager begin kan zich manifesteren in moeilijkheden om helder te denken, jezelf te oriënteren of taken uit te voeren. Vervolgens wordt coördinatie moeilijk. Helaas veroorzaakt hypoxia een gevoel van versuffing, zodat de duiker wellicht geen maatregelen treft.

1-4 Narcose Volgens de huidige theorieën heeft zuurstof een narcotiserend effect te vergelijken met dat van stikstof (zie 2-10), alleen de overigen fysische aspecten zijn verschillend

2 Stikstof - N₂

2-1 Decompressie Lucht bevat 78.1% stikstof. Normaal gesproken bevindt zich in het lichaam N₂ opgelost in de weefsels. De ppN₂ in de weefsels is hetzelfde als in de longen. De hoeveelheid N₂ is in evenwicht. Verandering van de ppN₂ in de longen door het ademen van een ander gasmengsel of door een drukverandering, zoals bij duiken of bij verandering van hoogte, verstoort dit evenwicht. Om een nieuw evenwicht te bereiken zal N₂ opgenomen of afgegeven worden door de weefsels. Het bereiken van een nieuw evenwicht kost zo'n 24 uur. Bij het verlagen van de omgevingsdruk kunnen belletjes ontstaan. Te veel, te grote belletjes kunnen decompressieziekte veroorzaken. Om de belletjesgroei binnen de perken te houden is het van belang de omgevingsdruk niet te snel, te veel te veranderen. Modellen van wat er gebeurd tijdens compressie en decompressie helpen grenzen te bepalen.

Tijdens de decompressie kan de N₂, die opgelost is in de weefsels, weer afgegeven worden, zodra de ppN₂ in het bloed lager is dan in de weefsels. Bij verlaging van de omgevingsdruk kunnen er echter belletjes van de N₂, die in de weefsels was opgelost, ontstaan. Er is een theorie dat er bij een klein verschil nog geen belletjes ontstaan. Daarentegen is het waarschijnlijker dat er altijd belletjes zijn, die kunnen groeien tijdens de decompressie. Deze belletjes worden micro belletjes genoemd, omdat ze in tegenstelling tot grotere belletjes, voor zover bekend, geen decompressie ziekte geven. Door het verschil klein te houden zullen er geen grote bellen ontstaan, die decompressie ziekte kunnen veroorzaken. De druk moet wel laag genoeg zijn om de weefsels N₂ af te laten geven. Klein houden kan betekenen dat tijdens de opstijging op een bepaalde diepte gestopt moet worden, omdat verder opstijgen het verschil in druk te groot maakt. Zodra er voldoende gas uit de weefsels is verdwenen kan er verder worden opgestegen. In ieder geval is het van belang langzaam genoeg op te stijgen. Hoewel een duik pas een decompressieduik wordt genoemd als er stops verplicht zijn, vindt er natuurlijk tijdens iedere duik een decompressie fase plaats.

2-2 Rekenmodellen Goed doorbloede, waterige weefsels worden als snel beschouwd en slecht

doorbloede, vette weefsels worden als langzaam beschouwd in het opnemen en afgeven van gas. Snelle weefsels limiteren korte diepe duiken en langzame weefsels beperken lange, ondiepe duiken en saturatie duiken. 5

Het algemene model in vele computers is het meerdere weefsel model (Buhlmann ZHL16c). Dit model veronderstelt dat gas uitwisseling, geregeld door de bloedstroom door verschillende gebieden met verschillende concentraties gas, afhankelijk is van het verschil in concentratie in het bloed en in de weefsels. Voor de uitwisseling worden exponentiële functies gebruikt. Weefsels hebben verschillende halfwaarde tijden tussen 1 en 700 minuten. Weefsels worden als onafhankelijk beschouwd. Dit model is niet volledig. Vooral micro belletjes kunnen de verwijdering van gas verhinderen. De vorm van de weefsels heeft invloed op de uitwisseling. Er kan een verschil zijn tussen opname en afgifte van gas, bijvoorbeeld vanwege kou. Verschillende computers gebruiken extra algoritmes om hiervoor te corrigeren. Het thermodynamische model gebruikt extra natuurkundige gaswetten. Een opmerkelijk verschil met de standaard modellen is dat er diepere stops vereist worden, net als wanneer er verondersteld wordt dat er al grote bellen aanwezig zijn.

Alle modellen zijn imperfect en proberen de kans op decompressie ziekte simpelweg laag te houden.

2-3 Stops Het maken van een veiligheids stop tijdens een nultijd (niet-decompressie) duik verlaagt de kans op decompressie ziekte enorm. Doppler onderzoek geeft aan dat een stop op 5 meter gedurende 3 tot 5 minuten bijna alle micro belletjes elimineert. Over het algemeen is er zo ondiep genoeg te zien om het een gewoonte te maken je duik te eindigen met het rondkijken op zo'n 5 meter.

Het missen van enkele minuten van de verplichte decompressie stops zal over het algemeen geen problemen opleveren, omdat de kans op decompressie ziekte, hoewel hierdoor iets verhoogt, nog steeds vrij laag zal zijn. Het is wel verstandig om pure O₂ te geven en de duiker in de gaten te houden om te controleren of er geen symptomen ontstaan die duiden op decompressie ziekte.

Het thermodynamische model suggereert diepere stops. Dit is een praktijk, die al langer gepropageerd wordt door Richard Pyle en reeds algemeen geaccepteerd door technische duikers. Het viel hem op dat diepere stops hem minder vermoeid maakten na het duiken. De gebruikelijke decompressie modellen doen echter vermoeden dat een diepe stop alleen maar nadelig is, omdat er dan nog steeds gas wordt opgenomen in plaats van afgegeven. Ondersteund door de resultaten van enkele nieuwe modellen maakt hij zich sterk voor diepere stops. Zolang computers dit nog niet gebruiken suggereert hij het volgende voor de opstijging:

1. Bereken je decompressie profiel. Dat doet bijvoorbeeld je duikcomputer voor je.
2. Hou je eerste diepe stop op de diepte in het midden tussen de maximale duikdiepte en je eerste verplichte stop.
3. Bereken je decompressie profiel opnieuw. Een duikcomputer is dus weer erg makkelijk.
4. Als de afstand tot je eerste verplichte stop meer dan 10 meter is maak dan opnieuw een diepe stop halverwege.
5. Herhaal dit totdat de afstand minder dan 10 meter is. Vervolg met je normale verplichte decompressie.

Dit valt te beschouwen als veiligheidsstops voorafgaand aan de decompressie stops.

2-4 Hoogte Op grotere hoogte is de luchtdruk lager. Dit heeft invloed op de decompressie, omdat de druk waar de duiker naar terug keert na de duik lager is dan 1 bar en er dus meer N₂ verwijderd moet worden, voordat het veilig is volledig op te stijgen. Er bestaan aanpassingen van de normale tabellen om voor die lagere druk te corrigeren. De meeste computers hebben er ook geen problemen mee.

Daarnaast kan een verlaging van de druk na een duik op zeeniveau slecht zijn. De DCIEM tabellen geven aan dat na een enkele nultijd duik 12 uur gewacht dient te worden of totdat de herhalingsfactor 1.0 is, voordat er naar een hoogte van 1800 meter wordt gegaan. Dit komt overeen met de druk in een vliegtuig. Na een decompressieduik of het maken van meerdere duiken is het verstandiger 24 uur te wachten. Voor lagere hoogtes zijn de tijden korter.

2-5 Decompressieziekte Het ontstaan van belletjes in het lichaam kan cellen beschadigen en bloedstroom verhinderen. Decompressie ziekte kan voorkomen bij onvoldoende decompressie, persoonlijke fysiologische afwijkingen en omgevings omstandigheden. Onvoldoende decompressie hoeft niet te leiden tot decompressie ziekte en voldoende decompressie zal het niet altijd voorkomen. Extra factoren die de kans op decompressie ziekte verhogen zijn vermoeidheid, overgewicht, leeftijd, uitdroging, een slechte conditie hebben, afwijkingen die de longen of de bloedsomloop verstoren, koude, jo-jo duiken, gebruik van een verwarmd pak, koude, zware inspanning tijdens of na het duiken en heet douchen na het duiken. Het voortdurend gespannen houden van een spier, zoals bij het vasthouden van een camera, kan extra opbouw van belletjes veroorzaken vanwege verminderde doorbloeding.

Decompressie ziekte wordt vaak verdeeld in twee categorieën. Type I omvat pijn, huid irritatie, bends en

huid verkleuring. Behandelen met pure O₂ is vaak voldoende. Het is van belang in de gaten te houden of de duiker geen Type II verschijnselen gaat vertonen. Type II omvat naast bends ook alle andere verschijnselen van decompressie ziekte. Belletjes in de hersenen of het ruggenmerg kunnen vele effecten hebben, zoals verlamdheid, gevoelsverlies, spierslakte, pijnlijke band om de borst, duizeligheid, bewusteloosheid, hoofdpijn, tunnel zicht, desoriëntatie, verwarring, angst, misselijkheid, overgeven en doofheid. Problemen met de ademhaling en shock kunnen ook voorkomen. Over het algemeen ontstaan symptomen 5 minuten tot 36 uur na het duiken.

Behandeling met 100% O₂ is van groot belang. Vervolgens moet bij ernstige decompressie ziekte, vooral bij Type II, de duiker naar een recompressie kamer gebracht worden.

2-6 Vocht tekort Uitdroging verhoogt de kans op decompressie ziekte. Vanwege een verminderd bloedvolume vindt de verwijdering van gas uit de weefsels minder efficiënt plaats. Vocht verlies kan op vele manieren plaatsvinden. Een warme omgeving en sjouwen met duikuitrustingen veroorzaken zweten. Ademen van droge lucht, zoals bij gebruik van airconditioning of tijdens duiken verhoogt vochtverlies via de longen. Drinken van alcohol, koffie en thee versterkt de urinatie. Bovendien wordt urinatie versterkt doordat bloed uit de benen de rest van het lichaam instroomt tijdens het duiken, omdat de druk op het lichaam gelijkmatig is en de zwaartekracht minder invloed heeft. De hogere bloeddruk rond het hart die hier het gevolg van is compenseert het lichaam door vocht (plasma) af te voeren naar de nieren.

Overgeven, vanwege bijvoorbeeld zeeziekte, en diarree kunnen een flink vochtverlies veroorzaken.

Menstruatie verandert de vochtinhouding en kan daardoor lijden tot een verminderd bloedvolume.

Vooraf tijdens duikvakanties is het niet onwaarschijnlijk enigszins uitgedroogd te raken.

2-7 Patent foramen ovale Het foramen ovale is een opening tussen linker en rechter kamer van het hart, die normaal sluit na de geboorte. Bij zo'n 30% van de mensen sluit deze opening echter niet helemaal en blijft dus open (patent). Via deze opening is het mogelijk voor bloed, dat in het hart arriveert, om de longen over te slaan en meteen weer de rest van het lichaam in te gaan. Klaren van de oren door middel van de Valsava manoeuvre kan bloeddruk veranderingen geven, die dit versterken. Microbelletjes, die ontstaan tijdens de decompressie, worden door de longen uitgewassen. Overslaan van de longen vergroot het aantal microbelletjes in het bloed.

Er is onderzoek gedaan aan hersenen van duikers. Duikers hebben een even grote kans op het hebben van hersenafwijkingen, maar bij een patent foramen ovale zijn het er meer. Overigens is deze kans erg klein. Bovendien kunnen microbelletjes grotendeels verwijderd worden door het maken van een veiligheidstop aan het einde van iedere duik.

2-8 In-water recompressie In-water recompressie (IWR) is lange tijd als zeer slecht beschouwd. Het is gevaarlijk om een duiker met decompressie ziekte verschijnselen weer onder water te plaatsen, omdat hij minder controle kan hebben, bewusteloos kan raken en vervolgens kan verdrinken. Een volgelaats masker kan uitkomst bieden. Communicatie is lastig onder water, zodat het moeilijk is om de toestand van de patiënt in de gaten te houden. Bovendien is het minder eenvoudig voor de patiënt om te voelen of hij bijvoorbeeld duizelig is of dat lichaamsdelen ongevoelig zijn. Onderkoeling is niet onwaarschijnlijk. Gas zal minder snel uitwassen of zelfs opgenomen worden, omdat de inerte gas druk verhoogd wordt, tenzij een mengsel met een voldoende hoog O₂ percentage gebruikt wordt. Bij hoge ppO₂ moet weer opgepast worden voor stuip trekkingen welke levensgevaarlijk zijn voor de betreffende duiker i.v.m. acuut verdrinkingsgevaar. Ook uitdrogingsverschijnselen komen voor door langdurig droge lucht / O₂ te ademen.

Een voordeel van IWR is dat het direct toepasbaar is. Dit is vooral van belang als vervoer naar een recompressie kamer vele uren of zelfs meer dan een dag kan duren. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om pure O₂ onder een druk van meer dan 1 bar te ademen.

Sommige duikers hebben voordeel gehad van IWR, anderen zijn er door overleden. Mogelijke overwegingen om IWR eventueel toe te passen zijn de volgende.

1. De recompressie kamer is meer dan 12 uur ver weg.
2. De duiker is in voldoende goede staat om onder water te gaan.
3. Alleen Type I decompressie ziekte is een situatie, die wellicht verergerd in plaats van verbeterd wordt door IWR. Zich snel ontwikkelende decompressie ziekte vraagt echter wellicht om een snelle behandeling, voordat symptomen veel erger zijn.
4. De omgeving is geschikt. Dat wil zeggen niet te koud, geen hoge golven, geen sterke stroming of gevaarlijke dieren.
5. Er is voldoende O₂ en de apparatuur om dit onder water toe te dienen inclusief een volgelaatsmasker. IWR met lucht is mogelijk, maar veel gevaarlijker.

Helaas zijn er geen echt scherpe grenzen aan te geven en zijn de aangegeven overwegingen dus niet altijd de beste. Probeer niet om met IWR kleine decompressie ziekte verschijnselen op te lossen, omdat

je je er misschien voor schaamt. IWR is nog steeds een zeer controversieel onderwerp en alleen geschikt voor extreme situaties.

2-9 Lange termijn effecten Micro belletjes kunnen beschadigingen in de hersenen en het ruggenmerg veroorzaken, zonder dat er ooit decompressie ziekte is opgetreden. Osteonecrose, sterfte van botten, komt vooral voor bij beroepsduikers, die veel saturatie duiken maken. Echter uit diverse literatuur blijkt dat het incidenteel ook is waargenomen bij sportduikers. Bijna alles in het leven is enigszins schadelijk en duiken hoeft daarom dus niet gemedend te worden.

2-10 Narcose N₂ heeft invloed op de celmembranen van zenuwcellen waardoor de prikkeloverdracht verstoort wordt. Verhoging van de ppN₂ versterkt de narcotische werking. Gevoeligheid kan sterk verschillen van persoon tot persoon en van moment tot moment. Over het algemeen beginnen duikers effecten te voelen tussen 25 en 40 meter. Narcose lijkt op de effecten, die alcohol kan hebben. De duiker kan zich er erg lekker bij voelen en overmoedig raken, maar vooral als de duiker zich al niet op zijn gemak voelde kan er extra angst ontstaan. De narcose verzwakt nadenken en concentratie, gevoel voor tijd, het geheugen en verminderd de zenuw-spier controle. Overige mogelijkheden zijn onbedwingbaar lachen en een verdoofd gevoel in lippen en benen. Op grotere dieptes (70 - 100 meter) kunnen hallucinaties, gehoorverlies en totale verdoving ontstaan en is nadenken niet meer mogelijk.

Narcose vermindert onmiddellijk bij een verlaging van de ppN₂, bijvoorbeeld door op te stijgen. Gebruik van alcohol versterkt narcose sterker dan simpelweg de twee afzonderlijke effecten bij elkaar opgeteld. Narcose kan verder versterkt worden door vermoeidheid, kou, angst, gebruik van anti-zeeziekte middelen en hoge ppO₂. Een snelle afdaling kan sterkere narcose opleveren gedurende een korte tijd. Bij regelmatige blootstelling is er geen sprake van tolerantie, er is wel een soort persoonlijke aanpassing waardoor er beter mee wordt omgegaan.

Vermijd overdreven diepe lucht duiken en maak gebruik van helium (of Neon) als een gas voor de diepere duiken (dieper dan 45 - 50 meter).

2-11 Nitrox Nitrox is een mengsel van O₂ en N₂. Lucht kan dus ook nitrox genoemd worden. Een gebruikelijke notatie is EAN_x, Enriched Air Nitrox, waarbij de x het percentage O₂ aangeeft. Twee gebruikelijke mengsels EAN32 en EAN36 worden ook wel Nitrox I en Nitrox II genoemd.

N₂ veroorzaakt narcose en verplicht decompressie. O₂ kan vergiftiging geven. Bij gebruik van lucht worden de diepte en tijd over het algemeen door de N₂ begrensd. Door de hoeveelheid N₂ te verlagen en de hoeveelheid O₂ te verhogen kunnen de twee grenzen dichter bij elkaar gebracht worden. Keuze van een geschikte mix kan gebaseerd worden op een ppO₂ van 1.4 bar op de maximale duikdiepte. Dit beperkt de narcose(wanneer zuurstof als niet narcotiserend wordt beschouwd) en de decompressie dan zoveel mogelijk, zonder last te krijgen van de O₂.

Decompressieziekte en stikstof narcose ontstaat heel geleidelijk, terwijl O₂ vergiftiging zich plotseling en onaangekondigd kan manifesteren met vrij ernstige effecten, zoals stuip trekkingen. Bij gebruik van nitrox moet de duiker zich dus strak houden aan zijn maximaal toegelaten diepte, ook wel MOD, Maximum Operating Depth, genoemd.

Voordelen qua decompressie ten opzichte van lucht kunnen worden beschouwd als de volgende. Bij gebruik van lucht tabellen of computer wordt de kans op decompressie ziekte flink verlaagd. Bij gebruik van nitrox tabellen of computer kan langer gedoken worden bij een zelfde decompressie verplichting. Nitrox kan bij afwezigheid van pure O₂ gebruikt worden voor duikers met decompressie ziekte.

3 Koolstofdioxide - CO₂

Hoe vaak en hoe diep je adem haalt wordt veroorzaakt door de ppO₂, de hoeveelheid CO₂, de pH in het bloed, door reflexen in de longen en de borstkas en natuurlijk door de hersenen. CO₂ is hiervan de belangrijkste. Normaal wordt de hoeveelheid CO₂ binnen strakke grenzen gehouden. Dit is dus niet de ppCO₂, maar het aantal moleculen. Aan de oppervlakte is 4% CO₂ de grens en heeft de duiker dus evenveel O₂ (4%) gebruikt. Op een diepte van bijvoorbeeld 30 meter wordt maar 1% O₂ gebruikt, omdat 1% CO₂ van 4 bar evenveel moleculen bevat als 4% van 1 bar. Van de 21% O₂ in lucht gebruik je er dan maar 1.

Rebreathers zijn veel effectiever. Een rebreather verwijdert de CO₂ uit de uitgeademde lucht, zorgt voor voldoende O₂ en laat je het dan opnieuw inademen. Met een closed-circuit rebreather wordt alle O₂ gebruikt onafhankelijk van de diepte.

Zo hard werken dat er melkzuur ontstaat (anaerobisch) verandert de ademhaling om te compenseren voor de verzuring van het lichaam. Een verhoogde ppO₂ voorkomt dat echter, omdat het de

chemoreceptor reactie op melkzuur uitschakelt. Arbeid kan de hoeveelheid CO₂ dus verhogen. Ademen van een gas onder hogere druk is moeilijker vanwege de hogere dichtheid. Het lichaam reageert met een vermindering van de ventilatie. Gasmengsels met He bieden een voordeel, omdat de dichtheid van He veel lager is. Een derde oorzaak voor het vasthouden van meer CO₂ is het opzettelijk verlagen van de ventilatie. Zogenaamd skip-breathing, waarbij de duiker probeert extra zuinig met zijn gas om te gaan door na inademen lang te wachten met weer uitademen, veroorzaakt een verhoging van de hoeveelheid CO₂. Chronische blootstelling aan omgevingen met veel CO₂ vergroot de neiging CO₂ vast te houden. Het lichaam raakt gewend aan meer CO₂ en dat vermindert de ademhalingsreactie. De gewoonte CO₂ vast te houden verschilt bovendien van persoon tot persoon. Het hebben van een hoge hoeveelheid CO₂ in het lichaam heeft een aantal nadelige gevolgen. O₂ vergiftiging vindt sneller en bij lagere druk plaats en het draagt ook bij aan decompressieziekte en "inert gas" narcose. Voor effectieve ademhaling moet het gas overigens een kleine hoeveelheid CO₂ bevatten. Bij gebruik van lucht van 1 bar vinden de volgende effecten plaats bij teveel CO₂. Vanaf 2% wordt er duidelijk meer geademd. Vanaf 5% heeft de duiker een sterk gevoel te weinig adem te krijgen. Vanaf 10% kan de duiker bewusteloos raken. Meer dan 15% kan dodelijk zijn.

4 Koolstofmonoxide - CO

Koolstofmonoxide bevindt zich normaal gesproken niet in het te ademen gas. Een slechte compressor of het aanzuigen van uitlaatgassen kan dat veranderen. CO bindt zich 210 keer sterker met Hemoglobine (Hb) dan O₂, zodat de duiker hypoxia ondervindt, omdat de O₂ niet meer naar de cellen vervoerd wordt. Zelfs een zeer kleine hoeveelheid CO kan al erg gevaarlijk zijn. CO vergiftiging kan dus beginnen met bewusteloosheid. Een langzamer begin wordt gekenmerkt door zware hoofdpijn, misselijkheid en overgeven. Een duidelijk kenmerk dat de duiker kan krijgen is erg rode lippen en huid. Toedienen van pure O₂, liefst onder hoge druk, is de beste behandeling.

Roken veroorzaakt een verhoging van de hoeveelheid CO in het lichaam. Bij niet rokers is gemiddeld 0.5% HbCO te vinden. Voor rokers is dat 7 tot 14 keer zo hoog. De hoeveelheid CO, die een roker ontvangt, is giftig. Gemeten zijn veranderingen in neurologische reflexen, psychomotorische test resultaten, zintuiglijke waarneming en electrocardiogrammen. Bovendien veroorzaakt het vermoeidheid, hoofdpijn, irritatie, duizeligheid en een verstoord slaappatroon.

Door roken worden de longen zwakker. In de longen kunnen verstoppingen ontstaan, die gas onder hoge druk vasthouden en scheuren tijdens de opstijging. Scheurtjes kunnen vervolgens gas embolie veroorzaken. Er kunnen extra problemen met het klaren van de oren ontstaan. De door roken ontstane atherosclerose, verhoogde bloeddruk en hartslag zijn ook nadelig tijdens duiken. De verhoogde 'kleverigheid' van bloedplaatjes kan haarvaatjes verstoppen, wat de kans op decompressieziekte verhoogt. Het zou het beste zijn helemaal niet te roken, maar in ieder geval wordt het aangeraden gedurende enkele uren voorafgaand aan het duiken niet te roken.

5 Helium - He

Een mengsel van He en O₂ wordt heliox genoemd. Voeg daar N₂ aan toe om trimix te maken. Redenen om Helium te gebruiken zijn de volgende. He is het minst narcotisch van alle mogelijk te ademen gassen. De dichtheid van He is lager dan die van N₂, zodat ademen makkelijker gaat. Dit helpt het vasthouden van teveel CO₂ voorkomen. Nadelen van He zijn de volgende. He wordt sneller opgenomen door lichaams weefsels, zodat er meer decompressie vereist wordt. He geleidt warmte zes keer zo snel als N₂. He isoleert slecht bij gebruik in een droogpak. Over het algemeen wordt Ar uit een extra fles gebruikt om het droogpak te vullen. He veroorzaakt HPNS.

Pure He is gevaarlijk bij inademing, omdat dit de doorlating van O₂ kan blokkeren, zelfs na het weer uitademen van de He. He voor duiktoepassingen bevat ongeveer 2% O₂. Voor ballonnen wordt heliox met 20% tot 30% O₂ gebruik, dit levert bij inademing dus geen risico op.

5-1 HPNS High Pressure Nervous Syndrome is een verschijnsel dat zich manifesteert bij gebruik van heliox vanaf dieptes van 150 tot 200 meter. Een snelle afdaling kan dit versterken. Enkele symptomen zijn spiertrillingen, slaperigheid, slaapproblemen, nachtmerries, misselijkheid, verminderde eetlust, overgeven, duizeligheid, concentratie moeilijkheden en verstoringen in het gezichtsveld. Dit kan lijken op O₂ vergiftiging en N₂ narcose.

Soms verdwijnen effecten na verloop van tijd. Het gebruiken van een kleine hoeveelheid N₂ in het

mengsel kan de effecten flink verminderen. Een ppN₂ van zo'n 2.5 bar is voldoende.

5-2 Decompressie Decompressie is niet alleen van belang voor N₂, maar voor alle inerte gassen. Het Buhlmann model veronderstelt dat de diffusie snelheid van een gas evenredig is met de wortel uit het molecuul gewicht. He is 2.65 keer zo snel als N₂. Tijdens de decompressie wordt er nog steeds gas opgenomen door de weefsels, maar er wordt meer afgegeven. Vervangen van He door N₂ tijdens de decompressie creëert een situatie waarin de N₂ langzamer wordt opgenomen dan met He zou gebeuren, zodat de verwijdering van gas dus versneld wordt.

Zo diep mogelijk wisselen van N₂ naar He en later weer terug tijdens de duik verlaagt de decompressie tijd aanzienlijk.

5-3 Trimix Trimix kan voordelen bieden bij decompressie ten opzichte van Heliox, omdat N₂ minder decompressie verplichting oplevert dan He. Bovendien wordt HPNS grotendeels voorkomen. Om de juiste samenstelling te kiezen kan de volgende methode gebruikt worden. Kies zoveel O₂ dat de ppO₂ op de maximale diepte 1.4 bar is. Dit staat een blootstelling toe van 21/2 uur. Kies zoveel N₂ dat je geen last denkt te hebben van stikstofnarcose (is variabel) en vul verder aan met He. Voor de N₂ kan de zogenaamde Equivalent Narcotic Depth (END) hulp bieden. De END is de vergelijkbare diepte waarop je geen ernstige last denkt te hebben van narcose bij gebruik van lucht. Als dit bijvoorbeeld 35 meter is, dan is de maximale ppN₂ gelijk aan $79\% \times 4.5 \text{ bar} = 3.56 \text{ bar}$. Bij gebruik van een rebreather kan tijdens de afdaling van N₂ naar He gewisseld worden op het moment dat de ppN₂ de gewenste waarde bereikt, zodat de ppN₂ constant is gedurende de rest van de duik onafhankelijk van de diepte totdat er weer opgestegen wordt. 12

5-4 Travel mix Tijdens duiken met He wordt gebruik gemaakt van een travel mix in de vorm van nitrox om de diepte te bereiken waarop het He mengsel gebruikt gaat worden. Aangeraden wordt om te wisselen als de ppO₂ 1.4 - 16 bar bereikt. Een mengsel met veel O₂ biedt voordelen voor de decompressie. Daarentegen is het voordeel van een mengsel met minder O₂ dat de travel mix vanaf grotere diepte gebruikt kan worden als "bail-out" gas indien er iets mis gaat met de toevoer van het He mengsel.

6 Neon - Ne

Neon lost langzamer in weefsels op dan N₂ en biedt daarom voordelen voor korte diepe duiken. Neon is echter erg duur en decompressieziekte veroorzaakt door Ne zou wel eens moeilijker te behandelen kunnen zijn.

7 Waterstof - H₂

Waterstof wordt gebruikt voor extreem diepe duiken naar dieptes van meer dan 500 meter. H₂ werkt het beste samen met He als Hydreliox. Het O₂ percentage mag niet meer dan 5 zijn, omdat het mengsel anders explosief is. H₂ en O₂ alleen heeft narcotische effecten vergelijkbaar met LSD.

8 Argon - Ar

Argon wordt voornamelijk gebruikt om droogpakken te vullen, omdat dat beter isoleert dan lucht en veel warmer is dan He mengsels.

Ar is experimenteel gebruikt als decompressie gas (Argox), omdat de diffusiesnelheid net wat lager is dan voor N₂ (1.19 keer). Net als het wisselen van He naar N₂ kan er gewisseld worden van N₂ naar Ar. Het biedt echter niet veel voordeel en onderzoek naar de veiligheid is nog niet voltooid. Ar is bovendien zeer narcotisch ten opzichte van He en N₂.

Literatuurlijst NOAA diving manual National Oceanic and Atmospheric Administration Carbon Dioxide dr. Jolie Bookspan, Edward H. Lanphier Deep Stops Richard L. Pyle In-Water Recompression Richard L. Pyle, David A. Youngblood Physiology and Physics of Helium Robert Palmer Planning Gas Mixtures Robert Palmer Decompression Theory B.R. Wienke Brain Damage in Divers? Samuel Shelanski The Dangers of Dehydration Samuel Shelanski