

# **Van onder naar boven. Een weg naar succes**

Waar moeten NASA of het private bedrijfsleven hun volgende generatie astronauten uit kiezen? Ze hebben mensen nodig met honger naar avontuur, zeer nauwgezette aandacht voor details en tomeloos enthousiasme voor exploratie.

De beste keuze voor nieuwe astronauten ligt in de diepte van de oceanen. Astronauten en aquanauten (NAUTS) lijken heel erg op elkaar en er bestaat al een relatie tussen de twee groepen. Tijdens een verlof van de NASA werkte U.S. Navy astronaut Scott Carpenter in 1965 als teamleider aan het "Man in de Zee" project, waar hij leiding gaf aan het team duikers. Veel van dezelfde karaktereigenschappen zijn nodig voor zowel ruimte- als onderzee-ontdekkingsreizigers om succesvol te kunnen zijn.

## **Van nachtsterren naar zeesterren**

De overdracht van wenselijke gewoontes door het gebruik van aquanauten om de rol van astronaut te vervullen zou de ruimtevaart enorm vooruit helpen door het terugdringen van de vereiste opleidingstijd. Bovendien zouden sommige veiligheidsvoorzorgsmaatregelen en bail-outs die gebruikt worden bij rebreathers en bij expeditie / exploratie duiken bruikbare instrumenten kunnen zijn voor ruimteonderzoek.

Er bestaan ook verschillen tussen de twee subculturen. Huidige astronauten rijden in een grote (2 duizend ton) raket de ruimte in, draaien om de aarde met 8 kilometer per seconde op hoogtes tussen de 180 en 650 kilometer. Aquanauten dalen af in een bol die onder druk staat, als vrij-zwemmende duikers of in een kamer, naar dieptes tussen de 10 en 600 meter zeewater (mzw) met een snelheid tussen 3 en 40 meter per minuut; ze blijven in die hoge druk omgeving totdat ze decomprimeren.

Maar zelfs in de verschillen zitten overeenkomsten. Als duikers afdalen neemt de partiële druk van de gassen die ze inademen (zuurstof, helium of stikstof) toe, volgens de Wet van Dalton. Deze wet bepaalt het delicate evenwicht van de ademgassen binnen in de saturatie duikkamer (SAT kamer). Het Internationale Ruimte Station (ISS) en de huidige shuttle (satelliet) onderhouden voor het grootste deel van de tijd een normale zuurstofconcentratie op de normale druk van zeeniveau, maar de Wet van Dalton bepaalt de druk in de boosterkamer. De afmeting van de brandstof verbrandende kamer wordt gedictieerd door de noodzaak dat de verbranding in evenwicht moet zijn. De Wet van Dalton bepaalt de relatie tussen de druk en andere variabelen. Beide team worden beheerst door veel van dezelfde wetten, hoewel ze niet op dezelfde manier toegepast worden.

Zowel astronauten als aquanauten zijn over het algemeen kleine, zeer hechte, zeer goed getrainde en team intensieve groepen mensen. Beide ontwikkelen, oefenen noodprocedures en leren die uit het hoofd, en beide hebben grote steun van zowel personeel als materiaal tijdens hun missie nodig. Logistieke training is een groot onderdeel van iedere missie en uitgebreide planning en oefening gaat vooraf aan zowel ruimtevluchten als SAT duiken.

NAUTEN van beide types moeten in zeer kleine ruimtes leven gedurende ergens tussen vijf dagen en zes maanden. Geen van de teams heeft een algemene perceptie van dag of nacht; en zonlicht dringt zelden door tot de dieptes van een SAT duik. Het minime licht dat in diep water doordringt verliest zelfs zijn rode, oranje en gele kleuren en zonder extern licht lijkt alles groen en blauw. Daarentegen zijn de astronauten getuige van 32 zonsopgangen en -ondergangen iedere dag dat ze om de aarde draaien met meer dan vier mijl per seconde.

## **Flexibiliteit is het sleutelwoord**

NAUTEN zijn de spreekwoordelijke vissen in een kom, kijkend door kijkgaten en de uitgestrektheid van de wereld observerend terwijl ze verdergaan. Als ze in deze enge wereld zijn echter, is het essentieel om duidelijke rollen van leiderschap te definiëren, net als de verschillende gebieden van verantwoordelijkheid. Maar toch bestaat voor ieder de mogelijkheid om te moeten handelen als technicus, viskenner, geoloog, monteur, maar ook als schoonmaker, wasman en kok. Personeel dat kan multitasken is zeer waardevol.

Vanwege de speciale omgeving van het reizen in de ruimte en onderwater, moet er een psychologisch profiel voor alle NAUTEN gemaakt worden: Personen die bij elkaar passen moeten bij elkaar gezet worden zodat er een maximum capaciteit voor communicatie is tussen de teamleden. De fysieke stress van een veranderde omgeving, de afwisselende daglichtpatronen die een potentieel voor slaapttekort creëren, het taakintensieve werkrooster en de benauwde woonomgeving maakt dat het absoluut noodzakelijk is om goed met elkaar op te kunnen schieten. Je kunt een conflict niet oplossen door buiten rond te wandelen om je hoofd leeg te maken als je mijlenver boven of onder zeeniveau bent: alle teamleden moet hun persoonlijke doelen opzij zetten en werken aan teamgeoriënteerde doelen.

Water is de beste en de meest kosten effectieve omgeving om astronauten in te trainen voor de constante vrije val in de ruimte (gesimuleerde gewichtsloosheid). Om taken te oefenen, worden astronauten in hun ruimtepak neutraal zwevend gehouden en ondergedompeld in een laboratorium met een neutraal drijfvermogen. Voor ze een manoeuvre of een klus in de ruimte proberen, simuleren ze het onderwater.

NASA astronauten worden momenteel getraind voor afgelegen medische procedures in SAT kamers. De zuiver afgelegen en compacte aard van de SAT kamer imiteert de condities in het Internationale Ruimte Station of satelliet, waar de medisch technicus beperkte ruimte heeft. De astronauten hebben een beperkte hoeveelheid medische voorraad zowel boven de atmosfeer als onder de zee, dus is de training karakteristiek voor de werkelijke omstandigheden.

Terwijl ze in de SAT kamer zijn kan een arts, die simuleert dat hij duizenden kilometers ver weg op "aarde" is, specifieke medische procedures doorspreken met de niet getroffen astronauten. Deze training is nuttig voor zowel de saturatieduikgemeenschap als voor de astronauten en toont nog eens de overeenkomsten tussen de twee groepen.

Voor missies van langere duur worden astronauten ook geacclimatiseerd in deze SAT kamers. NASA Extreme Environment Mission Operations (NEEMO) is een programma waar astronauten een diepgaande start maken in het leren over technieken en technologieën die van belang zouden kunnen zijn voor ruimtereizigers die voldoen aan het presidentiële besluit en naar de maan en verder reizen.

Ze duiken in een SAT kamer voor de kust van Key Largo, waar ze een omgeving ervaren die op vele manieren net zo potentieel vijandig is als die in de ruimte of op andere planeten. In zes zulke onderwatermissies hebben de astronauten ook materiaal getest dat wellicht de ruimte in gevlogen gaat worden. Voor de eerste keer in lange tijd wordt er fysiologisch onderzoek bij mensen uitgevoerd tijdens deze NEEMO duiken. Astronaut bemanningsleden maken vaak opmerkingen over de overeenkomsten tussen het werken onderwater en in de ruimte.

De NEEMO expedities zijn niet de eerste keer dat NASA kennis bij de zee heeft gezocht. In 1969, twee dagen voor de lancering van Apollo 11, lanceerde NASA de PX-15 Ben Franklin, die een bemanning van zes meenam op een 30 dagen durende onderzeereis om de Golfstroom stromingen te bestuderen plus de lange termijn effecten van mensen die in een kleine omgeving leven. NASA wilde de omgeving aan boord van een onderzeeër bestuderen als analoog met het leven aan boord van een ruimtestation.

De gegevens van deze missie zouden opgenomen worden in NASA exploratie missies, maar glijdende

tijdlijnen en de eis voor precies werk beletten de voltooiing van deze missie voor de uitvoering van de maan-schokkende landing van Apollo 11 op de maan. Vanwege de timing werden de prestaties van de NAUTEN op deze missie verdrongen door Amerikanen die naar de hemel keken terwijl een andere groep onderzoekingsreizigers probeerden op de maan te landen. De informatie die door de bemanning van de Ben Franklin werd verzameld wordt nog steeds gebruikt als richtlijn voor expedities overal.

NAUTEN delen zorgen met ondersteunend en management personeel. In beide scenario's hebben NAUTEN heel weinig autonomie en erkennen de noodzaak voor ondersteuning vanaf de grond of van boven, waar wellicht een groter scala aan deskundigheid aanwezig is. Ieder moment van de dag, van werk tot slaap is vastgelegd en wordt gecoördineerd door mensen die niet werkelijk op de plek aanwezig zijn. De delicate dynamiek van omgaan met een manager op afstand kost een behoorlijke tijd om onder de knie te krijgen. Aquanauten zijn al gewend aan management op afstand en gaan er goed mee om.

Alle NAUTEN geven er echter de voorkeur aan om problemen zelf op te lossen. Ze in staat te stellen om problemen individueel of als team op te lossen geeft ze waardevolle ervaring in het manipuleren van hun eigen omgeving en materialen en helpt in het bouwen van een team dat steviger op eigen benen staat.

### **Een vergelijking van de woonomgevingen**

De atmosfeer kan beheerst worden, dus er zijn geen speciale pakken nodig binnen in het ISS, satelliet of een SAT kamer. Metalen muren bewaren de druk in de ISS of satelliet (in het luchtledige van de ruimte) of buiten de SAT kamer (in het dichterdan-lucht water). Omdat de atmosfeer binnen in de woonomgevingen op zichzelf staat, moet hij goed beheerst worden om het leven in stand te houden.

Zoogdieren kunnen niet in leven blijven als ze een medium ademen dat anders is dan de gascombinatie met minstens 16 procent zuurstof. De atmosfeer wordt op dezelfde manier gehandhaafd in de ISS en satelliet als in de SAT kamer. In een gesloten systeem kan de concentratie van koolzuurdioxide (CO<sub>2</sub>, een bijproduct van zuurstofmetabolisme) over een periode van slechts 10 minuten groter worden dan de menselijke tolerantie van ongeveer 6 volumepercent.

Om dit probleem op te lossen in rond de aarde draaiende voertuigen, voert een eenvoudige serie ventilatoren het ademmedium door "scrubbers" die de CO<sub>2</sub> verwijderen. Deze scrubbers binden het CO<sub>2</sub> chemisch en produceren daarbij waterdamp, vocht en kalk. Het verwijderde water wordt naar het water- en herwinmanagement subsysteem geleid. De scrubbers bevatten vaak een laag houtskool om luchtjes te absorberen en te verminderen.

Andere systemen voegen zuurstof toe en homogeniseren het zodat er geen "zakken" ontstaan; temperatuur- en vochtigheidsbehandeling helpen om de lucht te laten circuleren, vocht te verwijderen en de ISS en satelliet binnen de grenzen te houden die normaal voor druk en zuurstofgehalte op zeeniveau zijn.

Warmtebeheersing is cruciaal voor de ISS en de satelliet vanwege de aanmerkelijke temperatuurswisselingen in het vacuüm van de ruimte. Er is geen atmosfeer die de warmte iedere 90 minuten in stand houdt als ze van dag naar nacht en terug gaan tijdens de rondwentelingen.

Vanwege de volledige isolatie van de ruimte is het herwinnen van water van extreem groot belang. Hoewel SAT kamers dit niveau van complexiteit niet hebben, noch de noodzaak van het verzamelen van water, voeren ze wel op dezelfde manier scrubbing uit, vochtonttrekking, verwarming en verwijderen van luchtjes. Verwarming is in een SAT kamer ontzettend belangrijk omdat het omringende water warmte 25 keer sneller dan lucht wegvaagt. Bovendien maken de metalen wanden en het meestal hoge helium gehalte dat de SAT duikers zich oncomfortabel koud voelen.

SAT kamers worden gewoonlijk op een constante druk gehouden (opslagdiepte) ongeacht hoe diep de duikers tijdens hun missie moeten werken. Als een SAT duik een maximum diepte van 120 mzw (meer dan 13 keer de druk op normaal zeeniveau) vereiste, was de opslagdiepte 90 mzw. De atmosfeer in de SAT kamer was dan een drie-gas mengsel (trimix) van helium, zuurstof en stikstof. De helium werd gebruikt of de potentieel narcotische effecten van stikstof tegen te gaan.

De partiële druk van zuurstof (PPO<sub>2</sub>) moet beperkt blijven tot 0,5 procent (het equivalent van het ademen van 50 procent zuurstof bij een normale oppervlakte druk) zo dat de duikers geen symptomen van pulmonale zuurstofvergiftiging zouden krijgen. Pulmonale zuurstofvergiftiging is het “verbranden” van de longblaasjes ten gevolge van een langere blootstelling aan hogere concentraties zuurstof en uit zich door irritatie onder het borstbeen, pijn bij inademen, verminderde vitale capaciteit. Vaak worden deze symptomen voorafgegaan door een niet-productieve hoest en “kriebel” achter in de keel.

Het ademmedium in de SAT kamer wordt over het algemeen niet veranderd totdat de duiker klaar is en de duikers gedecomprimeerd worden. De druk wordt vervolgens verlaagd tijdens de decompressie totdat de duikers weer op normale oppervlaktedruk zijn gebracht.

Tijdens lange verblijven in deze “huizen weg van thuis” is hygiëne een belangrijke factor. NAUTEN produceren afvalproducten. Voor afvalverwerking en het comfort van de bewoners is opslag en verwijdering hiervan heel belangrijk. In de ruimte worden uitscheidingsproducten in een compartiment gezogen en het vocht wordt eruit verwijderd en uitgestoten, de rest van het materiaal wordt vacuüm opgeslagen. Het vacuüm maakt het gemakkelijker de geurtjes weg te vangen.

Sommige SAT kamers hebben loodgieterwerk van harde producten waardoor de bewoners de faciliteiten bijna net zo gemakkelijk kunnen gebruiken als een normaal toilet. De pijpen van het systeem moeten echter versterkt worden om de hogere druk te weerstaan. De meeste SAT kamers gebruiken draagbare toiletten en vloeibaar afval kan direct worden uitgestoten. De rest moet ingepakt worden en naar het oppervlakte gebracht of worden opgeslagen. Vanwege de gesloten omgeving wordt dat laatste meestal afgeraden.

Vanwege de volledige onderdompeling van een SAT kamer en de aard van het werk is het verwijderen van vocht uit het ademmedium moeilijk. Deze verhoogde vochtigheid, samen met de verhoogde druk en de niet natuurlijke lichtbronnen vormen een uitstekende broedplaats voor bacteriën. Om de kans op oorontstekingen te verminderen, moeten SAT duikers als voorzorgsmaatregel een antischimmel/bacterie oplossing gebruiken. Daar de zware uitrusting bepaalde plekken van de huid kan beschadigen, staan NAUTEN ook bloot aan een grotere kans op contactdermatitis. Hoewel astronauten niet te maken hebben met verhoogde vocht- en drukkiveaus moeten ze voorzichtig blijven om open wonden en infecties te vermijden.

NAUTEN zijn gewoonlijk fysiek fit om de gkrachten en decompressiestress te weerstaan. Ze onderhouden over het algemeen hun fysieke kracht als ze een opdracht uitvoeren. Voor astronauten geldt dat ze, als ze geen oefeningen doen, hun spieren kunnen verzwakken tot het punt waarop ze niet meer kunnen staan of lopen als ze terug keren in de zwaartekracht omgeving van de aarde. Bovendien zal de hartspier, als hij niet geoefend wordt, kunnen verzwakken. Daarnaast zijn de botten biologisch gecodeerd om krachten op te vangen. Gebrek aan krachten leidt tot het minder dicht worden van de botten doordat er calcium uitgescheiden wordt. Als er niet geoefend wordt, kunnen botten bros worden en breken als ze opnieuw in een omgeving met zwaartekracht komen.

Als gevolg van het oefenen, zweten NAUTEN. Voor aquanauten verhoogt dit oefenen het reeds hoge vochtgehalte, maar dat is over het algemeen geen probleem. Astronauten hebben geen zwaartekracht om

te helpen het zweet af te voeren. Lucht, stromend vanuit een pijp helpt, net als het gebruik van handdoeken bij het afdrogen van het zweet. Als deze bewegende lucht de astronaut niet droogde, zou het zweet aan de huid blijven plakken en steeds dikker worden.

Zoet water is kostbaar voor beide groepen NAUTEN. Er is geen douche in de satelliet of de ISS. Astronauten gebruiken washandjes of sponsen met een soort zeep die met een handdoek afgeveegd kan worden. In een SAT kamer douchen NAUTEN vooral in zout water met een laatste afspoeling met zoet water. Ze moeten speciale zeep hebben die niet afbreekt in zout water. Al het spoelwater (niet zoet) wordt uitgestoten.

Daar er niets is om water naar beneden te dwingen maakt een douche in een ruimteschip rondvliegend water mogelijk. Gezien de hoeveelheid elektronica in de ISS en satelliet zou rondvliegend water gevoelige apparatuur kunnen beschadigen. Vanwege het ontbreken van mogelijkheden om de voorraadtanks gemakkelijk opnieuw te vullen, vangt een waterrecycling hulpsysteem het water op van de wastafels, urine, de brandstofcellen van de satelliet en condensatie van de ademhaling van de astronauten. Een drinkwaterprocessor vormt afvalwater om tot drinkwater. De waterkwaliteit wordt voortdurend door een ander systeem in de gaten gehouden.

Vuur is een van de grootste gevaren in de ruimte of in onderwaterkwartieren, dus worden er maatregelen genomen om het gevaar van ontbranding tegen te gaan. De vier elementen van de brandvierhoek die nodig zijn voor ontbranding zijn warmte, brandstof, zuurstof en de chemische reactie. Als een of meer van deze elementen groter worden, neemt de kans op ontbranding aanmerkelijk toe.

Het gevaarlijkste deel van een ruimtevlucht is waarschijnlijk de terugkeer. De temperatuur van de tegels kan oplopen tot 938 graden C en de voorste rand van de vleugels kunnen wel 1371 graden C worden. Deze temperatuuropenaam kan problematisch worden indien de juiste brandstof en voldoende zuurstof aanwezig zijn.

Op dezelfde manier lopen SAT duikers tijdens het laatste deel van de decompressie een aanmerkelijke kans op ontbranding. Om de decompressietijd zo kort mogelijk te houden wordt het PPO2 naar een concentratie gebracht van wel 1,2 procent. Dat is het equivalent van een omgeving met 120 procent zuurstof. Alle andere elementen van de vuurvierhoek worden vervolgens verminderd of uitgesloten om de kans op brand te verminderen.

### **Overeenkomsten bij het verlaten van de habitat**

Als een duiker de opslagdieptekamer verlaat, wordt dat een excursie genoemd. De decompressievereiste voor een excursie wordt vastgesteld aan de hand van de hoeveelheid inert gas in het ademmedium. De enige manier om de inert gasconcentratie te verlagen is door de zuurstofhoeveelheid in het ademmedium te verhogen. SAT duikers gebruiken reclaimers of Rebreathers om hun ademmedium te recirculeren in plaats van het in het water te laten wegstromen.

Deze rebreathers vangen het gas op, scrubben de CO<sub>2</sub> eruit en voegen zuurstof toe, net zo als het systeem in hun woonomgeving, hoewel op kleinere schaal. De duikers hebben een hogere concentratie zuurstof in hun ademmedium nodig terwijl ze aan het werk zijn.

Tijdens ruimtewandelingen van astronauten hebben ze kleine aanpassingen in hun pak nodig. Om het hoge moleculaire zuurstofvacuüm van een lage omwenteling om de aarde (low earth orbit - LEO) tegen te gaan dragen astronauten een volledig drukpak, extra vehicular activity (EVA) pak genaamd. Deze pakken leveren zuurstof voor de ademhaling en behouden ook druk rond het lichaam om de vloeistoffen in hun

vloeibare fase te houden. Dit pak komt overeen met de hightech Rebreathers die technisch duikers gebruiken.

Een ruimtepak heeft als extra functie de bescherming tegen kleine meteoroiden en beschermt de drager tegen de extreme temperaturen van de ruimte met een actief koel- en verwarmingssysteem. Zonder een atmosfeer om het zonlicht te filteren kan de kant van het pak dat naar de zon wijst verwarmd worden tot een temperatuur van wel 115 graden C, terwijl de ander kant, die bloot staat aan de ruimte, wel -155 graden C koud kan worden.

De vereisten van een EVA drukpak zijn anders dan die van de druk op zeeniveau binnen in de ISS of satelliet. Als een EVA pak onder normale druk op zeeniveau zou staan tijdens een vacuüm, zou de drager zich niet kunnen bewegen. (Een duiker die ooit eens een droogpak te vol heeft laten lopen, weet, al is dat maar enigszins, hoe moeilijk het is om te bewegen). Het pak zou te stijf zijn; de armen en voeten zouden niet kunnen buigen en astronauten zouden niet kunnen werken. Een lage druk in een pak (bijna 1/3 van de normale druk op zeeniveau) heeft zijn voordelen want het geeft grotere flexibiliteit en mobiliteit van het pak tijdens EVA. De Wet van Dalton zegt dat een verlaging van de druk resulteert in een afname van de totale hoeveelheid zuurstof in de ademruimte; een toename van de PPO<sub>2</sub> is vereist om het leven in stand te houden.

Het grotere gevaar van brand is een acceptabel risico in een EVA pak omdat het geen elektronische onderdelen heeft. De ISS en satelliet echter hebben veel elektronische onderdelen en het gevaar van brand zou groot zijn als zuurstofniveaus hoger dan normaal zouden worden.

De saturatieduiker moet beschermd worden tegen de elementen waaraan hij blootgesteld wordt met een nat-, droog- of warmwaterpak. Dit beschermt de duiker primair tegen de kou en de verdampingsafkoeling van het omringende zeewater. In de meeste gebieden van de wereld dringt het zonlicht niet door tot SAT duikdieptes; het water kan op die diepte dan ook wel - 2 graden C zijn. In tegenstelling tot het luchtledige van de ruimte kunnen aquanauten zonder een beschermend pak bloot gesteld worden aan water, zij het dan voor slechts een korte periode. De grootste zorg voor duikers is het ademmedium.

Het gevaar van gescheiden te worden van het woonverblijf is aanmerkelijk. Astronauten gaan goed met dit probleem om, omdat ze gewoonlijk twee verbindingpunten hebben als ze een ruimtewandeling maken en ze bewegen zich door zich handover- hand voort te trekken of te duwen.

Astronauten kunnen niet bewegen door met hun voeten te trappelen of te zwemmen, want er niets in de ruimte waar ze zich tegen af kunnen zetten. Het gevaar van gescheiden worden in een SAT kamer is ook reëel. Moderne SAT duikers, niet vast gebonden aan het woonverblijf, moeten zeer zorgvuldig zijn om te zorgen dat ze niet gedesoriënteerd raken.

Een belangrijk verschil is dat de aquanauten alleen blootgesteld staan aan gewichtsloosheid terwijl hun lichaam in het water is, terwijl astronauten gewichtloos zijn totdat ze naar de aarde terug keren. Als de astronauten op een planetaire missie zijn, kunnen ze partiële zwaartekracht ondergaan.

### **Overeenkomsten in fysiologie**

Terwijl ze nog in de ISS of de satelliet zijn, voor het maken van een ruimtewandeling, moeten astronauten van tevoren zuurstof ademen vanwege het grote verschil in druk tussen het woonverblijf en het Eva pak. Het niet uitvoeren van deze "pre-ademhaling" (of aanpassen van de cabinedruk voor de ruimtewandelingen) kan de overdracht van opgeloste stikstof van de weefsels naar de bloedstroom van de astronauten tot gevolg hebben. Vanwege de snelle drukafname worden er stikstofbellen in het bloed

gevormd. Nadat ze aangevallen zijn door fagocyten (cellen die vreemde lichamen consumeren) worden ze als vreemd materiaal behandeld door hun leukocyten metgezellen (witte bloedlichaampjes).

Om kort te gaan, de astronaut kan "deco" oplopen. De symptomen hebben de neiging om tijdens of na de EVA op te treden en kunnen in ernstige gevallen fataal zijn. De pre-ademprocedure komt overeen met het pre-ademen met gebruik van een zuurstofrebreather. Pre-ademen wordt gedaan door in te ademen via een geïsoleerd masker in het woonverblijf. Deze procedures worden ook in de EVA pakken gevolgd. Zij zorgen ervoor dat alleen de astronaut en niet het ruimteschip wordt blootgesteld aan een hoger percentage zuurstof.

Tijdens dit proces wordt de stikstof die opgenomen is in de weefsels gereduceerd tot het punt waarop het gevaar van DCZ zo klein mogelijk is. Het veranderen van de atmosferische druk zou de tijd die nodig is voor het pre-ademen verkorten.

Hoewel er geen rapportage is over "ruimte decompressieziekte (DCZ)" ziet NASA een vrij groot aantal DCZ gevallen bij grondproeven in hypobare kamers. Ze hebben echter zeer conservatieve aanname criteria voordat ze een pre-adem protocol in de ruimte gebruiken. Er wordt een grote extra veiligheidsmarge aangehouden voor de vlucht. De metabolismesnelheid in het pak tijdens het preademen van zuurstof is iets hoger dan van een proefpersoon in rust.

Waarom? Dit komt omdat de astronaut zich beweegt en moet werken tegen het drukpak. Onderzoek door Dr. Michael Gernhardt (NASA astronaut, Manager Of Environmental Physiology Laboratory en Principal Investigator Of Prebreathe Reduction Program, Johnson Space Center) bij NASA heeft aangetoond dat zelfs een licht verhoogd metabolisme de uitwassing van stikstof kan verhogen en de decompressiestress kan reduceren. Als gevolg daarvan doen astronauten oefeningen tijdens het ademen van zuurstof om het uitwassen van stikstof te bevorderen. Dit plan werkt goed, maar het heeft een zeer specifiek oefenrecept. Het samen brengen van hoog-intensiteit oefeningen met laagintensiteit oefeningen was het beste voor het reduceren van stikstofbellen.

Dezelfde soort zorgen betreffende DCZ doen zich voor als een saturatieduiker een "excursie" maakt. Duikers die de diepte (aanmerkelijk) vergroten onder de opslagdiepte kunnen merken dat ze terug naar het woonverblijf moeten decomprimeren. Bovendien moeten alle duikers decomprimeren na iedere duik, ongeacht de diepte. Deze compressie is normaal in de vorm van een gecontroleerde stijgsnelheid.

Wanneer duikers naar de bodem van een diepe saturatieduik gaan, moeten ze op de hoogte zijn van de tekenen van high pressure nervous syndrome (HPNS). Dit wordt bij mensen gekarakteriseerd door duizeligheid, misselijkheid, overgeven, bevingen door houding en door inspanning, vermoeidheid en slaperigheid, ongecontroleerde bewegingen, maagkrampen, vermindering van intellectuele en psychomotorische prestaties, slecht slapen met nachtmerries en een toegenomen langzame en afgenomen snelle golf activiteit van de hersenen, zoals gemeten bv een elektro-encefalogram.

De exacte oorzaak is onbekend, maar men denkt dat HPNS veroorzaakt wordt door hoge druk van buitenaf en verergerd wordt door de keus van ademmedium of afdaalsnelheid. Sommige duikers bijvoorbeeld krijgen een lichte vorm van HPNS, "heliumkriebels" genaamd bij een snelle afdaling naar een diepte van slechts 92 mzw terwijl ze een helium-zuurstofmengsel ademen. Na een bepaalde druk (diepte) wordt de werkzaamheid van de duiker extreem beperkt.

Daar staat tegenover dat als astronauten versnellen tot meer dan 4 mijl per seconde en aan de constante vrije val van de ruimte beginnen velen van hun het zogenaamde "space adaption syndrome (SAS)" krijgen, wat overeenkomsten vertoont met bewegingsziekte. Symptomen kunnen uiteenlopen van lichte misselijkheid, desoriëntatie, overgeven tot een intens ongemak. Hoofdpijn en misselijkheid in verschillende

gradaties worden vaak gerapporteerd. Deze kwaal houdt naar men zegt twee tot vier dagen aan. Hoewel pillen tegen bewegingsziekte de ernst van de symptomen zouden verminderen, kunnen de gevolgen van deze medicijnen een astronaut slaperig maken.

Hoewel astronauten meestal niet lijden aan de SAT duikerkwalen, zoals aseptische botnecrose (afsterven van het bot door het in het bot opgeloste gas dat snel uit oplossing gaat en het bot vernietigt), hebben ze wel last van botafbraak vanwege het leven in microzwaartekracht omstandigheden. Astronauten hebben een verlaagde druk op hun botten maar het gebrek aan zwaartekracht veroorzaakt de ontkalking van de beenderen. Er worden speciale oefenmachines gebruikt om de weerstand te verhogen. Voor cardiovasculaire activiteit en om botafbraak tegen te gaan maken de astronauten zich aan de machine vast en oefenen iedere dag gedurende 15 minuten tijdens missies van zeven tot 14 dagen en 30 minuten per dag op 30 daagse missies.

Technisch en rebreather duikers krijgen symptomen die gewoonlijk "zuurstofoor" genoemd worden, of middenoor zuurstofabsorptie syndroom, dat optreedt na het ademen van een zuurstofrijk gas tijdens een duik. Het middenoor kan met zuurstof gevuld zijn en de weefsels rondom het gebied metaboliseren het zuurstof. Het gasvolume neemt langzaam af naarmate de zuurstof wordt gemetaboliseerd waardoor er een onbalans ontstaat tussen het buiten- en het middenoor. Over het algemeen kunnen duikers dit drukverschil zonder problemen na de duik klaren. Astronauten krijgen vaak een "zuurstofoor" om dezelfde redenen. Het vaakst gebeurt dit na hun trainingvluchten in de T-38 of na ruimtewandelingen.

Aquanauten en astronauten illustreren de menselijk ontdekkingsgeest. De astronautenkern bij NASA omvat slechts twee professionele duikers: Dr. Michael L. Gernhard, een ex-beroepsduiker (hierboven genoemd) en and Kapt. (select) Heidemarie M. Stefanyshyn-Piper, a een marine duikofficier.

De huidige kern van NASA astronauten laat zien dan meer dan 50 procent serieuze zwemmers of gebrevetteerde burgerduikers zijn die "genieten van het duiken" vanwege de sport. De overheersende consensus lijkt te zijn dat aanpassingsvermogen aan het water een vereiste is voor succes als astronaut. Geen enkele mens bezit alle eigenschappen die nodig zijn om de "perfecte astronaut" te zijn. Sommige aquanauten zijn beter in het optuigen en kunnen zonder inspanning door het water manoeuvreren, terwijl anderen handiger zijn en vissen in een schepnet kunnen vangen. Op dezelfde manier zijn sommige astronauten beter in het wandelen in de ruimte en anderen beter in het werken met de satellietarm.

Het geheim lijkt te zijn een juiste combinatie van mensen die elkaars sterke en zwakke punten aanvullen om een team te kunnen vormen met "alle juiste materialen." Aquanauten zijn de best toegeruste groep om in de diepte van de oceaan af te dalen en naar de hoogten van de ruimte op te stijgen. De selectie van aquanauten voor ruimtemissies is een directere weg tot succes en vergroot de kansen op een triomferend team.