

# Od przestrzeni wewnętrznej do zewnętrznej.

## Skąd powinna NASA lub branża prywatna wybierać następną generację swoich astronautów?

Potrzebują one osobników z pragnieniem przygody, drobiazgowym zwracaniem uwagi na szczegóły i nieposkromionym entuzjazmem dla poszukiwań.

Najlepszy wybór na nowych astronautach leży w głębiach oceanu. Astronauci i akwanauci (NAUCI) są bardzo podobni, a związki między dwiema grupami już istnieją. Po opuszczeniu NASA, w 1965 roku, astronauta marynarki USA Scott Carpenter pracował jako lider zespołu przy projekcie „Człowiek w morzu”, gdzie kierował zespołem nurków. Aby odnieść sukces, badacze przestrzeni i środowiska podwodnego muszą posiadać wiele podobnych cech.

## Od gwiazd nocnych do gwiazd morskich

Przeniesienie pożądanych nawyków przez wykorzystanie akwanauców do spełniania roli astronautów, mogłoby znacząco popchnąć eksplorację kosmosu, dzięki skróceniu wymaganego czasu szkolenia. Dodatkowo, pewne środki bezpieczeństwa i osobiste butle tlenowe używane w aparatach oddechowych oraz nurkowanie ekspedycyjne / badawcze mogłyby być użytecznymi narzędziami przy eksploracji przestrzeni kosmicznej.

Istnieją również różnice między tymi dwiema subkulturami. Dzisiejsi astronauta podróżują w kosmos w wielkiej (mającej masę dwóch tysięcy ton) rakiecie, okrążają ziemię z prędkością 8 km/s na wysokościach między 180 a 650 km. Akwanauci zanurzają się w dzwonie nurkowym, jako swobodnie pływający nurkowie lub w komorze na głębokości między 10 i 600 metrów, z prędkością między 3 a 40 m/min.; pozostając w tym wysokociśnieniowym środowisku aż do czasu dekompresji.

Jednak, nawet różnice zawierają podobieństwa. Gdy nurkowie zanurzają się, ciśnienie cząstkowe gazów, które wdychają (tlen, hel lub azot) ulega zwiększeniu, zgodnie z prawem Daltona. Prawo to rządzi delikatną równowagą gazów oddechowych w komorze nurkowania nasyconego (komora SAT).

Mimo, iż międzynarodowa stacja kosmiczna (ISS) i dzisiejsze wahadłowce (orbitery) przez większą część czasu utrzymują normalną zawartość tlenu pod ciśnieniem takim, jak na poziomie morza, prawo Daltona reguluje ciśnienie komory pędników rakiety. Wielkość komory spalania podyktowana jest wymogami równowagi spalania. Prawo Daltona rządzi relacjami między ciśnieniem a innymi zmiennymi. Oba zespoły są regulowane przez wiele takich samych praw, chociaż nie są one wykorzystywane w ten sam sposób.

Astronauci oraz akwanauci są na ogół niewielkimi grupami dobrze zgranych, wysoce wyszkolonych i kierunkowanych na pracę zespołową jednostek. Obie grupy opracowują, ćwiczą oraz zapamiętują procedury awaryjne i obie w swoich misjach wymagają znaczącego wsparcia zarówno osobowego jak i sprzętowego. Szkolenie logistyczne jest ważnym składnikiem każdej misji, a wydatne planowanie oraz ćwiczenie wchodzi w skład lotów kosmicznych i nurkowań SAT.

NAUCI obu typów muszą żyć w ograniczonych kwaterach, od pięciu dni do sześciu miesięcy.

Żaden zespół nie ma ogólnego postrzegania dnia lub nocy; a słońce dzienne rzadko przenika na głębokości nurkowań SAT. Nawet ta minimalna ilość światła, która przenika głębokie wody, traci swoje odcienie czerwone, pomarańczowe i żółte, a bez światła zewnętrznego, wszystko wydaje się zielone i niebieskie. Dla kontrastu, astronauta doświadczają każdego dnia 32 wschodów i zachodów słońca, gdy okrążają oni ziemię z prędkością większą niż 6,6 km/s.

## Kluczem jest elastyczność

NAUCI są przysłowiowymi rybami w misce, patrzącymi przez portale i obserwującymi okazałość świata, gdy przemieszczają się wzdłuż niego. Jednakże, podczas przebywania w tym ciasnym środowisku, zasadnicze znaczenie ma jasne zdefiniowanie ról przywódczych, jak również konkretnych obszarów odpowiedzialności. Poszczególni członkowie zespołu będą działać jako inżynier, ichtiolog, geolog, mechanik, jak również sprzątac, prac i kucharz. Możliwość wykonywania różnych czynności jest bardzo wartościowa.

Ze względu na szczególne środowisko pracy w przestrzeni i pod wodą, dla wszystkich NAUTÓW musi być stworzony profil psychologiczny: osoby zgodne muszą być umieszczone razem, tak aby istniała maksymalna zdolność komunikowania się między członkami zespołu. Fizyczny stres i zmienione środowisko, zmieniający się wzorec światła dziennego, stwarzający potencjał dla utraty snu, obfitujący w zadania harmonogram pracy i ściśnięte kwatery mieszkalne czynią wspólne działania absolutną koniecznością. Nie możesz wywoływać konfliktu spacerując dookoła, aby rozjaśnić umysł, gdy znajdujesz się kilometry powyżej lub poniżej poziomu morza: wszyscy członkowie zespołu muszą odłożyć na bok swoje osobiste cele i patrzeć na cele wyznaczone dla zespołu.

Woda jest najlepszym i najbardziej ekonomicznym środowiskiem, w którym szkolą się astronauta dla nieustannego swobodnego spadania w przestrzeni (symulowany stan nieważkości). W celu ćwiczenia zadań, astronautom stwarza się neutralną pływalność ich skafandrów kosmicznych i zanurza w laboratorium o neutralnej pływalności. Przed próbą manewrowania lub pracy w przestrzeni, przeprowadzają symulacje pod wodą.

Aktualnie, astronauta NASA do zdalnych procedur medycznych są szkoleni w komorach SAT. Jedynie oddalona i zwarta natura komór SAT imituje warunki międzynarodowej stacji kosmicznej lub orbitera, gdzie technik medyczny ma ograniczoną przestrzeń. Astronauta dysponują ograniczoną ilością materiałów medycznych, zarówno powyżej atmosfery, jak i poniżej poziomu morza, więc szkolenie jest charakterystyczne do warunków rzeczywistych.

Znajdując się w komorze SAT, lekarz, dla którego symulowany jest pobyt w odległości tysięcy kilometrów od „ziemi”, może omawiać specyficzne procedury medyczne z nieposzkodowanymi astronautami. Takie szkolenie jest korzystne dla społeczności nurkowania nasyconego i astronautów i dalej demonstruje podobieństwa między dwiema społecznościami.

Dla misji o wydłużonym czasie trwania, astronauta odbyli również aklimatyzację w tych komorach SAT. NASA Extreme Environment Mission Operations (NEEMO) (operacje misji w środowiskach ekstremalnych) są programem, w którym astronauta mogą uzyskać wnikliwy wstęp w poznawaniu technik i technologii, mogących służyć kosmicznym podróżnikom, gdy spełniają oni dekret prezydencki i podróżują do księżycy oraz poza niego.

Nurkują oni w komorze SAT przy wybrzeżu Key Largo, gdzie na wiele sposobów doświadczają środowiska, jako potencjalnie wrogiego, tak jak przestrzeń kosmiczna oraz inne planety. W sześciu takich misjach podwodnych, astronauta przetestowali również sprzęt, który może być latającym w przestrzeni. Po raz pierwszy od długiego czasu, w tych nurkowaniach NEEMO wykorzystywany jest badacz fizjologii człowieka. Członkowie załogi astronautów często zauważają podobieństwo pracowania pod wodą i w przestrzeni.

Ekspedycje NEEMO nie są pierwszymi, w których NASA zdobywała wiedzę z morza. W 1969, dwa dni przed wyniesieniem Apollo 11, NASA wypuściła łódź PX-15 Ben Franklin, która wywozła sześciuosobową załogę na 30-dniowy podmorski rejs, w celu zbadania prądu zatokowego i długotrwałych skutków dla ludzi,

przebywania w środowisku ograniczonym. NASA pragnęła zbadać środowisko na pokładzie łodzi podwodnej, jako analogię do życia na pokładzie stacji kosmicznej.

Dane z tej misji zostały wprowadzone do misji badawczych NASA, lecz poślizgi czasowe i wymóg precyzyjnej pracy, wykluczył ukończenie tej misji przed przeprowadzeniem wstrząsającego naszym naturalnym satelitą, księżycowego lądowania Apollo 11. Ze względu na zbieżność czasową, osiągnięcia NAUTÓW w tej misji zostały usunięte w cień przez Amerykanów spoglądających w kierunku nieba, gdyż inna grupa badaczy przymierzała się do lądowania na księżycu. Informacje zebrane przez załogę łodzi Ben Franklin, nadal są wykorzystywane jako wskazówki przy wszystkich ekspedycjach.

NAUCI dzielą obawy o personel wspierający i zarządzający. W obu scenariuszach NAUCI posiadają bardzo niewielką autonomię, potwierdzając potrzebę wsparcia z ziemi lub z powierzchni, gdzie może być dostępny większy zakres kompetencji. Każda chwila dnia, od pracy do snu jest zaaranżowana i koordynowana przez osoby, które w rzeczywistości nie znajdują się na miejscu. Delikatna dynamika kontaktów z odległym menedżerem potrzebuje pokonania znaczącego czasu. Akwanauci przywykli już do zdalnego zarządzania i radzą sobie dobrze.

Jednak, wszyscy NAUCI preferują samodzielne rozwiązywanie problemów. Upoważnienie ich do rozwiązywania problemów indywidualnie lub w ramach zespołu, daje im cenne doświadczenie w manipulowaniu ich własnym środowiskiem i sprzętem oraz pomaga budować zespół w większym stopniu samowystarczalny.

### **Porównanie kwater mieszkalnych**

Atmosfera może być kontrolowana, więc wewnątrz ISS, orbitera lub komory SAT nie są wymagane żadne specjalne skafandry. Metalowe ściany utrzymują ciśnienie wewnątrz ISS lub orbitera (w próżni kosmosu) lub na zewnątrz komory SAT (w bardziej gęstej od powietrza wodzie). Ponieważ atmosfera wewnątrz ograniczonych pomieszczeń mieszkalnych jest autonomiczna, musi być ona odpowiednio utrzymywana dla podtrzymania życia. Ssaki nie są zdolne do przeżycia przy wdychaniu innego medium niż kombinacja gazów zawierająca co najmniej 16 procent tlenu. Atmosfera jest utrzymywana w taki sam sposób w ISS i orbiterze, jak ma to miejsce w komorze SAT. W systemach zamkniętych, nagromadzenie się dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>, produkt uboczny metabolizmu tlenu) przez okres tak krótki, jak 10 minut może osiągnąć poziom większy niż tolerancja człowieka, w przybliżeniu 6 procent objętościowo.

W celu rozwiązania problemu w pojazdach orbitujących, prosty szereg wentylatorów wywołuje obieg medium oddechowego i przepuszcza je przez „oczyszczacze”, które usuwają CO<sub>2</sub>. Te oczyszczacze chemicznie wiążą CO<sub>2</sub> i w wyniku wytwarzają parę wodną, wilgoć i kredę. Usunięta woda jest odsyłana do podsystemu zarządzania odzyskiwaniem wody. Oczyszczacze często zawierają warstwę węgla aktywnego do pochłaniania i redukcji niemiłych woni.

Inne systemy dodają i homogenizują tlen, więc nie występują puste przestrzenie; sterowanie temperaturą i wilgotnością pomaga cyrkulacji powietrza, usuwa wilgoć i utrzymuje ISS oraz orbiter w zakresie podobnym do normalnego ciśnienia na poziomie morza i z odpowiednią zawartością tlenu. Kontrola ciepła ma decydujące znaczenie dla ISS i orbitera, ze względu na znaczące zmiany temperatury w kosmicznej próżni. Nie istnieje atmosfera umożliwiająca utrzymywanie stałego ciepła w 90-minutowym cyklu, gdy podczas orbitowania przechodzą one z dnia do nocy i ponownie z powrotem.

Ze względu na pełną izolację kosmosu, szczególnie ważne jest wtórne przetwarzanie wody. Mimo, iż

zwykle komory SAT nie zawierają tego poziomu komplikacji, ani potrzeby zbierania wody, przeprowadzają one w ten sam sposób oczyszczanie CO<sub>2</sub>, odwilgacanie, ogrzewanie oraz usuwanie woni. Ogrzewanie jest wyjątkowo ważne w komorze SAT, ponieważ otaczająca woda unosi ciepło 25 razy szybciej niż powietrze. Dodatkowo, metalowe ściany komory oraz zwykle duża zawartość helu powodują u nurków SAT uczucie nieznośnego zimna.

Komory SAT są zwykle utrzymywane pod stałym ciśnieniem (głębokość przebywania), bez względu na to, jak głęboko potrzebują pracować nurkowie podczas swojej misji. Jeżeli wymagane jest nurkowanie SAT do maksymalnej głębokości 120 msw (metry słupa wody) - (ciśnienie 13 razy większe niż na poziomie morza), głębokość utrzymywania stacji powinna wynosić ~90 msw. Atmosfera w komorze SAT byłaby mieszkanką trzech gazów (trimix): helu, tlenu i azotu. Hel jest wykorzystywany do skompensowania potencjalnie narkotycznych konsekwencji azotu.

Ciśnienie cząstkowe tlenu (PPO<sub>2</sub>) musi być ograniczone do 0,5 procenta (ekwiwalent oddychania 50 procentowym tlenem pod normalnym ciśnieniem na powierzchni), więc nurkowie nie doświadczają objawów płucnej toksyczności tlenu.

Płucna toksyczność tlenu jest „wypalaniem” pęcherzyków płucnych z powodu długotrwałego narażenia na wyższe stężenia tlenu i objawia się przez podrażnienie poniżej mostka, ból przy wdychaniu, zmniejszone pojemności życiowe. Często objawy te są poprzedzone przez suchy kaszel oraz „łaskotanie” z tyłu gardła. Medium oddechowe w komorze SAT jest na ogół zmieniane do czasu ukończenia nurkowania i rozpoczęcia dekompresji nurków. Podczas dekompresji ciśnienie jest stopniowo zmniejszane, aż nurkowie zostaną przywróceny do normalnego ciśnienia atmosferycznego. Podczas długich przystanków w tych „domach z dala od domu”, znaczącym czynnikiem jest higiena. NAUCI wytwarzają produkty odpadowe. Ze względów sanitarnych i dla wygody mieszkańców, bardzo ważne jest ich przechowywanie i usuwanie.

W kosmosie, odchody są wsysane do komory, płyn jest usuwany i wyrzucany za burtę, a to co zostało jest przechowywane w próżni. Próżnia ułatwia przechowywanie woni.

Niektóre komory SAT posiadają armaturę, która pozwala mieszkańcom korzystać z toalet prawie tak łatwo jak w normalnej ubikacji, chociaż rury systemu muszą być wzmocnione, aby wytrzymać wyższe ciśnienie. Większość komór SAT używa przenośnych zbiorników, a odpady płynne mogą być natychmiast wyrzucone za burtę. Pozostałości muszą być ładowane do worków i wyciągane na powierzchnię lub przechowywane. Ze względu na zamknięte środowisko, tego drugiego na ogół się unika.

Z powodu pełnego zanurzenia komory SAT oraz natury pracy, usuwanie wilgoci z medium oddechowego jest trudne. Ta zwiększona wilgotność, w połączeniu ze zwiększonym ciśnieniem i nienaturalnymi źródłami światła, sprzyja wspaniałym podłożom rozrodczym dla bakterii. W celu zmniejszenia zagrożenia infekcjami uszu, nurkowie SAT muszą stosować jako środek zapobiegawczy roztwór przeciwbakteryjny / grzybobójczy. Ponieważ ciężki sprzęt może ocierać pewne obszary skóry, NAUCI są również narażeni na ryzyko styczości z zapaleniem skóry. Mimo, iż astronauta nie doświadczają zwiększonych poziomów wilgoci i ciśnienia, muszą oni zachować ostrożność, aby uniknąć otwartych ran oraz infekcji.

NAUCI zwykle zachowują sprawność fizyczną do walki z przeciążeniami i stresami dekompresji. Po wyznaczeniu, na ogół dbają o swoją fizyczną sprawność. U astronautów brak wysiłku mógłby spowodować osłabienie mięśni do punktu, w którym mogliby nie być w stanie ustać lub chodzić, po powrocie do

środowiska ziemskiej grawitacji. Ponadto, jeżeli mięsień sercowy nie jest ćwiczony, może także ulec osłabieniu. Dodatkowo, kości są biologicznie zakodowane do absorbowania oddziaływań. Brak oddziaływań powoduje, że kości stają się mniej gęste, przez pozbycie się wapnia. Jeżeli nie są ćwiczone, kości mogą stać się bardziej łamliwe i złamać po wprowadzeniu do środowiska pełnej grawitacji.

W wyniku ćwiczeń, NAUCI pocą się. Dla akwanautów, takie ćwiczenie dokłada się do już wysokiego poziomu wilgotności, lecz na ogół nie stanowi problemu. Astronauci nie posiadają grawitacji, która pomogłaby usunąć pot. W osuszeniu potu pomaga wydmuchiwanie z duktów powietrze, jak również użycie ręczników. Jeżeli to poruszające się powietrze nie osuszyłoby astronauty, pot przylgnąłby do skóry i nieustannie coraz grubiej narastał. Słodka woda jest na wagę złota dla obu grup NAUTÓW.

W orbiterze lub ISS nie ma prysznic. Astronauci używają wilgotnych ściereczek lub gąbek z mydłem, które ściera się ręcznikiem. W komorze SAT, NAUCI biorą prysznic początkowo w słonej wodzie, a wodę słodką wykorzystują do końcowego spłukania. Wymagają oni specjalnego mydła, które nie zepsuje się w słonej wodzie. Cała brudna woda (lecz nie słodka) jest wyrzucana za burtę.

Bez żadnej siły zmuszającej wodę do spłynięcia, prysznic w kosmosie ułatwiłby swobodne fruwanie wody. Przy dużej ilości elektroniki w ISS i orbiterze, swobodnie fruwająca woda mogłaby uszkodzić czuły sprzęt. Ze względu na brak możliwości łatwego uzupełnienia zbiorników w kosmosie, podsystem odzyskiwania wody i gospodarowania nią odzyskuje i wtórnie przetwarza wodę ze zlewu, moczu, ogniw paliwowych orbitera oraz skroplin z powietrza wydychanego przez astronautów. Procesor wody pitnej oczyszcza wodę zanieczyszczoną do wody pitnej. Inny system ściśle monitoruje jakość wody.

Ogień stanowi jedno z największych zagrożeń w kosmosie lub pomieszczeniach podwodnych, więc podjęte są odpowiednie środki mające na celu zmniejszenie ryzyka pożaru. Czterema elementami czworościanu pożaru niezbędnymi do spalania są ciepło, paliwo, tlen i reakcja chemiczna. Gdy jeden lub kilka z tych elementów są wyolbrzymione, ryzyko spalania znacząco wzrasta.

Być może najbardziej niebezpieczną częścią każdego lotu kosmicznego jest ponowne wejście w atmosferę. Temperatura płytek może osiągać 938 °C, a krawędź natarcia skrzydeł - 1371 °C. Taki wzrost temperatury może być problematyczny, jeżeli dostarczone jest do prawidłowe paliwo i wystarczająca ilość tlenu.

Podobnie, podczas ostatniej części dekompresji, nurkowie SAT doświadczają znacznego ryzyka spalania. W celu skrócenia czasu dekompresji, PPO2 jest podnoszona do poziomów tak wysokich jak 1,2 procenta. Jest to ekwiwalent środowiska o 120 procentowej zawartości tlenu. W celu zmniejszenia zagrożenia pożarem, wszystkie pozostałe elementy czworościanu ognia są kolejno zmniejszane lub odwracane.

### **Podobieństwa podczas opuszczania pomieszczenia mieszkalnego**

Gdy nurek opuszcza komorę głębokiego przechowywania, nazywane jest to wycieczką. Wymagania dekompresji dla wycieczki opierają się na ilości gazu obojętnego w medium oddechowym. Jedynym sposobem zmniejszenia zawartości gazu obojętnego jest zwiększenie zawartości tlenu w medium oddechowym. Nurkowie SAT używają regeneratorów lub aparatów oddechowych zamkniętego obiegu (rebreatherów) do recyrkulacji ich medium oddechowego, zamiast wydalania go do wody. Te aparaty oddechowe przechwytyują gaz, usuwają z niego CO<sub>2</sub> i dodają tlen, tak jak systemy w kwaterach mieszkalnych, aczkolwiek na mniejszą skalę. Nurkowie podczas pracy potrzebują większego stężenia tlenu w ich medium oddechowym.

Podczas wypadów astronautów poza pojazd kosmiczny, wymagają oni mniejszych zmian w ich skafandrach. Aby zwalczyć wysoką próżnię na niskiej orbicie okołoziemskiej (Low Earth Orbit -LEO), astronauta ubierają pełne skafandry ciśnieniowe, nazywane skafandrami działań poza statkiem kosmicznym (Extravehicular Activity suit - EVA).

Skafandry te dostarczają tlen do oddychania, jak również utrzymują ciśnienie wokół ciała, aby utrzymać płyny ustrojowe w stanie ciekłym. Skafander EVA jest podobny do najnowocześniejszych aparatów oddechowych używanych przez nurków technicznych.

Skafander kosmiczny posiada dodatkową funkcję zabezpieczenia przed niewielkimi meteoroidami oraz izoluje ubierającego przed ekstremalnymi temperaturami kosmosu z systemem aktywnego chłodzenia i ogrzewania. Bez atmosfery zdolnej filtrować światło słoneczne, strona skafandra zwrócona do słońca może być nagrzana do temperatury 115 °C, podczas gdy druga strona, wystawiona w przestrzeń, może być schłodzona do -155

°C. Wymagania ciśnieniowe skafandra EVA są różne od ciśnienia na poziomie morza panującego wewnątrz ISS lub orbitera. Jeżeli skafander EVA byłby napełniony powietrzem pod normalnym ciśnieniem panującym na poziomie morza, w próżni użytkownik nie mógłby się ruszać. (Nurek, który kiedykolwiek miał przepełniony suchy skafander, nawet w niewielkim stopniu, wie jak ciężko jest się poruszać.) Skafander byłby zbyt sztywny; ramiona i stopy nie mogłyby się zginać, a astronauta nie mógłby pracować. Korzystne jest niskie ciśnienie w skafandrze (prawie 1/3 normalnego ciśnienia na poziomie morza), ponieważ pozwala na elastyczność i mobilność skafandra podczas EVA. Ze względu na prawo Daltona, obniżenie ciśnienia skutkuje zmniejszeniem całkowitej ilości tlenu w przestrzeni oddechowej; dlatego, do podtrzymania życia wymagane jest zwiększenie PPO<sub>2</sub>.

Zwiększone zagrożenie pożarem jest dopuszczalnym ryzykiem w kombinezonie EVA, ponieważ nie ma on elektronicznych komponentów. Jednakże, ISS oraz orbiter posiadają wiele elektronicznych elementów i zagrożenie pożarowe byłoby większe, jeżeli poziom tlenu stałby się większy od normalnego.

Nurkowie nasyceni muszą być zabezpieczeni przed czynnikami, na które byliby narażeni w mokrych, suchych lub napełnianych gorącą wodą skafandrach. Przed wszystkim, zabezpiecza to nurka przed zimnem i dodatkowym chłodzeniem przez otaczającą wodę morską (na skutek parowania).

W większości obszarów kuli ziemskiej, światło słoneczne nie przenika do głębokości nurkowania SAT; dlatego woda na tej głębokości może mieć temperaturę nawet - 2 °C. W przeciwieństwie do próżni kosmosu, akwanci mogą być narażeni na wodę bez skafandra, aczkolwiek tylko na krótki czas trwania. Dla nurków, główną troską jest medium oddechowe.

Ryzyko odseparowania od kwater mieszkalnych jest znaczące. Astronauta radzą sobie dobrze z tym problemem, ponieważ zwykle podczas spaceru kosmicznego używają dwóch punktów połączenia i przemieszczają się przekładając rękę za ręką lub odpychając się. Astronauta nie mogą poruszać się przez wiosłowanie lub pływanie, ponieważ w kosmosie nie ma od czego odepchnąć się. Ryzyko odseparowania w komorze SAT jest również realne. Dzisiejsi nurkowie SAT, nieprzywiązani do miejsca zamieszkania, muszą zachować dużą ostrożność, aby nie stracić orientacji.

Jedną znaczącą różnicą jest to, że akwanci są narażeni na utratę wagi, tylko gdy ich ciała znajdują się w wodzie, podczas gdy astronauta są w stanie nieważkości aż do powrotu na ziemię. Jeżeli astronauta są z misją planetarną, mogą cieszyć się częściową grawitacją.

## **Podobieństwa w fizjologii**

Znajdując się nadal w ISS lub orbiterze przed jakimś spacerem kosmicznym, astronauta musi wdychać wstępnie tlen, ze względu na duże różnice ciśnienia między kwaterami mieszkalnymi a skafandrem EVA. Zaniedbanie przeprowadzenia wstępnego oddychania (lub wyregulowania ciśnienia kabiny przed spacerem kosmicznym) mogłoby skutkować przekazaniem rozpuszczonego azotu z tkanek do obiegu krwionośnego astronauty. Ze względu na gwałtowne zmniejszenie ciśnienia, we krwi tworzyłyby się pęcherzyki azotu. Po zaatakowaniu przez fagocyty (komórki, które wchłaniają obce ciała), mogłyby one być potraktowane jako obca materia przez towarzyszące im leukocyty (białe ciała krwi).

W skrócie, astronauta mógłby zostać „pogięty” przez chorobę dekompresyjną. Objawy mają skłonność do występowania podczas lub po EVA (wyjściu poza pojazd) i w poważnych przypadkach mogą mieć skutek śmiertelny. Procedura oddychania wstępnego jest podobna do oddychania wstępnego z tlenowym aparatem oddechowym.

Oddychanie wstępne jest przeprowadzane przez wdychanie z odizolowanej maski wewnątrz kwatery mieszkalnej. Procedury te są również przeprowadzane w skafandrach EVA. Zapewnia to, że tylko astronauta, a nie załoga statku kosmicznego, jest narażony na większą procentowo zawartość tlenu.

Podczas tego procesu, azot wchłonięty do tkanek jest redukowany do punktu, w którym ryzyko choroby dekompresyjnej jest zminimalizowane. Zmniejszenie ciśnienia atmosferycznego zmniejszyłoby czas wymagany dla oddychania wstępnego.

Mimo, iż nie istnieją raporty o „kosmicznej chorobie dekompresyjnej (DCS)”, NASA odnotowuje całkiem wysokie występowanie DCS w naziemnych próbach w komorach hiperbarycznych. Jednak, mają oni bardzo konserwatywne kryteria akceptacji protokołu wstępnego oddychania w przestrzeni. Przed lotem wprowadzony jest ogromny dodatkowy margines bezpieczeństwa. Szybkość metabolizmu w skafandrze podczas wstępnego oddychania tlenem jest nieco wyższa, niż u podmiotów badanych w spoczynku.

Dlaczego tak? Dzieje się tak dlatego, ponieważ astronauta poruszają się dookoła i pracują w skafandrach ciśnieniowych. Badania przeprowadzone przez Dr Michaela Gernhardta (astronauta NASA, menedżer Laboratorium Fizjologii Środowiskowej oraz główny badacz programu redukcji oddychania wstępnego, w centrum kosmicznym Johnsona) z NASA pokazał, że nawet nieco zwiększona prędkość metabolizmu może zwiększyć eliminację azotu i zredukować stres dekompresyjny. W rezultacie, astronauta podczas oddychania tlenem stosują ćwiczenia, w celu poprawy eliminacji azotu. Ten plan działa dobrze, lecz musi istnieć bardzo precyzyjny przepis ćwiczeń. Najlepsze dla redukcji pęcherzyków azotu było tworzenie par ćwiczeń wysoce intensywnych z ćwiczeniami o niskiej intensywności.

Podobne obawy dotyczące DCS ujawniają się gdy nurkowie przeprowadza „wycieczki”. Nurkowie, którzy zwiększają głębokość (znacznie) w wyniku wymaganej działalności poniżej głębokości przechowywania, mogą odczuć potrzebę dekompresji z powrotem do ich kwaterek mieszkalnych.

Dodatkowo, wszyscy nurkowie potrzebują dekompresji z każdego nurkowania, bez względu na głębokość. Dekompresja ta ma zwykle postać kontrolowanej prędkości wynurzenia.

Gdy nurkowie podążają do dna głębokiego nurkowania nasyconego, muszą być oni świadomi oznak neurologicznego zespołu wysokich ciśnień (HPNS). Objawia się on u ludzi przez zawroty głowy, nudności, wymiotowanie, dreszcze ciała, zmęczenie, senność, szarpanie, skurcze żołądka, pogorszenie możliwości intelektualnych i sychomotorycznych, płytki sen z koszmarami oraz zwiększona krótkofalowa i zmniejszona długofalowa działalność mózgu, przy mierzeniu elektroencefalografem.

Mimo, iż dokładne pochodzenie nie jest znane, HPNS jest uznawane za powodowane wysokimi ciśnieniami zewnętrznymi i pogarszane przez wybór medium oddechowego oraz prędkości zanurzenia. Na przykład, niektórzy nurkowie doświadczają łagodnej postaci HPNS określanej jako „pobudzenie helowe” podczas szybkiego zanurzenia się przy oddychaniu mieszkankami helowo- tlenowymi do głębokości tak małej, jak 92 msw. Poza pewnymi ciśnieniami (głębokościami), sprawność nurka staje się bardzo ograniczona. Dla kontrastu, gdy astronauta przyśpieszają poza 6,5 km/s i zaczynają orbitę stałego swobodnego opadania, wielu z nich doświadcza syndromu adaptacji kosmicznej (Space Adaptation Syndrome – SAS), który podobny jest to choroby lokomocyjnej.

Objawy mogą zmieniać się od łagodnych nudności, dezorientacji, wymiotowania do intensywnego dyskomfortu. Często zgłaszane są bóle głowy i nudności o zmiennym stopniu. Ta dolegliwość podobno trwa dwa do czterech dni. Mimo, iż pigułki przeciw chorobie lokomocyjnej mogłyby zmniejszyć powagę objawów, konsekwencje tej terapii mogłyby utrudnić zasypianie astronauty.

Chociaż astronauta na ogół nie cierpią na dolegliwości nurków SAT, takie jak aseptyczna nekroza kości (śmierć kości z powodu rozpuszczonego w niej gazu obojętnego wydobywającego się w gwałtowny sposób z roztworu i niszczącego kość), doświadczają utraty masy kości ze względu na przebywanie w warunkach mikrogravitacji.

Astronauta mają ograniczone naprężenia w ich kościach, lecz utrata grawitacji powoduje ich odwapnienie. W celu zwiększenia odporności, używane są specjalne maszyny do ćwiczeń. Dla aktywności sercowo-naczyniowej i w celu zmniejszenia utraty kości, astronauta przywiązują się i codziennie pracują przez 15 minut podczas misji 7 do 14-dniowych i 30 minut podczas misji 30-dniowych.

Nurkowie techniczni i korzystający z aparatów oddechowych mają do czynienia z objawami powszechnie nazywanymi „uchem tlenowym” lub zespołem absorpcji tlenu przez ucho środkowe, które występują po wdychaniu bogatego w tlen gazu podczas nurkowania. Ucho środkowe może nadal być wypełnione tlenem, a tkanki otaczające obszar wchłaniają tlen. Masa gazu powoli się zmniejsza, w miarę metabolizmu tlenu, powodując niezrównoważenie ciśnienia pomiędzy uchem zewnętrznym i środkowym. Na ogół, nurkowie mogą kontynuować usuwanie tego różnicowego ciśnienia po nurkowaniu, bez incydentów. Z tego samego powodu również astronauta często doświadczają „ucha tlenowego”. Najczęściej ma to miejsce po ich lotach szkoleniowych w T-38 lub po spacerze kosmicznym.

Akwanauci i astronauta stanowią przykład ludzkiego ducha odkrywania. Trzon astronautów w NASA obejmuje tylko dwóch zawodowych nurków: Dr Michaela L. Gernharda, byłego nurka komercyjnego (wspomniany powyżej); oraz Kpt. Heidemarie M. Stefanyshyn-Piper’a, nurkującego oficera Marynarki. Aktualny trzon astronautów NASA pokazuje, że ponad 50 procent stanowią poważni pływacy lub wykwalifikowani nurkowie cywilni, którzy uprawiają nurkowanie dla sportu. Nadrzędnym konsensusem wydaje się być, aby wodna zdolność adaptacji była wymogiem wstępnym do odniesienia sukcesu w roli astronauty. Żaden osobnik nie posiada wszystkich cech koniecznych do tego, aby być „astronautą doskonałym”.

Niektórzy akwanauci są lepsi w takielunku i mogą bez wysiłku manewrować przez wodę, podczas gdy inni są bardziej zręczni i mogą ręką złowić rybę. Podobnie, niektórzy astronauta są lepsi w spacerach kosmicznych, a inni są lepsi w operowaniu ramieniem orbitera. Kluczem wydaje się być prawidłowa kombinacja ludzi, którzy równoważą wzajemnie słabości i mocne strony, tworząc zespół z „w pełni



sprawnej załogi". Akwauaci są grupą najlepiej wyposażoną do wkraczania do głębi oceanu i wznoszenia się do wysokości kosmosu. Wybieranie akwonautów do misji lotów kosmicznych jest bardziej chwytającą za serce drogą do sukcesu i zwiększa szanse triumfującego zespołu.