

# Powrót do podstaw

Choroby ciśnieniowe (lub zaburzenia ciśnieniowe, ang. decompression illness, DCI) są fascynującymi stanami, które czają się gdzieś z tyłu głowy, przypominając nam, że jesteśmy wrażliwi na urazy i ograniczając naszą chęć eksplorowania głębin grożąc potencjalnymi konsekwencjami. Niezależnie czy wynurzamy się z głębin, czy podróżujemy na duże wysokości, wraz z ruchem od środka ziemi ciśnienie otoczenia spada. W sprzyjających okolicznościach to może zainicjować złożoną grę pomiędzy fizyką i fizjologią, która prowadzi do powstania urazu.

Nurkowie stają w obliczu dwóch typów urazów związanych z dekompresją: chorobą dekompresyjną (decompression sickness, DCS) i tętniczym zatorom gazowym (arteria gas embolism, AGE), Często te stany łączy się w jedną grupę, którą nazywa się zespół zaburzeń dekompresyjnych (ang. Decompression illness, DCI). Mają wspólne pochodzenie z procesu dekompresji, ale znacząco różnią się przyczynami.

## AGE

AGE jest urazem, który jest przyczyną 29 procent zgonów w wypadkach nurkowych. Prawdopodobnie łączy się z niedostatecznym zapasem gazu oddechowego, który jest czynnikiem wywołującym około 41 procent wypadków nurkowych<sup>1</sup>. Zator jest rzeczywistą lub potencjalną blokadą naczyń krwionośnych przez ciało obce. Może to być gaz, grudka zakrzepłej krwi, tłuszcz, guz, płyn owodniowy czy bakterie. I przypadku AGE u nurków, zator jest spowodowany przez gaz w obiegu tętniczym, który dostał się tam w wyniku rozdęcia płuc lub barotraumaty płuc (fizyczny iraz tkanki płuc na skutek różnicy ciśnień). Te urazy umożliwiają gazowi oddechowemu przedostać się z pęcherzyków płucnych i wnikać w obieg tętniczy.

Prawo Boyle'a – które mówi, że objętość pewnej ilości gazu zwiększa się wraz ze spadkiem ciśnienia – tłumaczy, mechanizm rozdęcia płuc przy wynurzaniu się. To prawo działa również w drugą stronę: objętość gazu spada wraz ze wzrostem ciśnienia podczas zanurzania się. Nurkowie są najbardziej zagrożeni barotraumą płuc na małej głębokości. Największa różnica ciśnień jakiej poddawani są nurkowie pod wodą (w porównaniu z ciśnieniem na powierzchni) ma miejsce na pierwszych 3-4 metrach.

Rozszerzanie się gazu poza punkt, w którym pęcherzyk może to wytrzymać, skutkuje uszkodzeniem tkanki płuc i umożliwia gazowi oddechowemu uciec w żyły płucne, które kierują natlenioną krew do serca. Gdy to się stanie, gaz może przejść przez serce i trafić wraz z krwią do mózgu, gdzie może wywołać ostre urazy neurologiczne. Szybkość z jaką to się dzieje wyjaśnia gwałtowne pojawienie się symptomów po nurkowaniu – AGE pojawia się w ciągu minut.

Barotrauma płuc może również objawić się jako powietrze zbierające się w śródpiersiu (obszar w klatce piersiowej pomiędzy płucami), który określa się jako odma śródpiersiowa, albo jako odma płucna (gdy powietrze zbiera się w przestrzeni klatki piersiowej na zewnątrz płuc). Największym zagrożeniem dla nurków jest AGE, które atakuje mózg, czyli stan znany jako mózgowy tętniczy zator gazowy (ang. Cerebral arterial gas embolism, CAGE).

Symptomy CAGE manifestują się na powierzchni lub tuż przy niej natychmiast po nurkowaniu. Około 50 procent nurków, którzy zostali dotknięci przez CAGE natychmiast traci przytomność. Inni mogą mieć zmienione stan świadomości lub utratę koordynacji lub siły, które są objawami i symptomami udaru i wynikają z ograniczonego przepływu krwi do części mózgu. Ci, którzy przeżyją początkowy uraz mogą spontanicznie odzyskać przytomność w ciągu kilku minut, wykazując różne stopnie urazu neurologicznego lub powrócić do normalnego funkcjonowania.

Niezależnie od pozornej normalności, wszyscy poszkodowani w wyniku barotraumy płuc, AGE lub CAGE powinni być niezwłocznie zbadani przez lekarza w szpitalnym oddziale ratunkowym. Znane są przypadki ponownego pojawienia się symptomów neurologicznych u pacjentów, którzy rzekomo odzyskali zdrowie. Wszyscy lekarze hiperbaryczni zgadzają się, że każdy, kto miał objawy urazu neurologicznego po nurkowaniu powinien być poddany badaniu. Osoby ze zdiagnozowaną AGE powinni otrzymać leczenie tlenem hiperbarycznym (leczenie w komorze hiperbarycznej).

Tomografia komputerowa głowy jest często elementem diagnostyki takich pacjentów po przybyciu do szpitala. Ważne jest, aby szybko ocenić stopień uszkodzenia mózgu lub wystąpienie udaru przed początkowym leczeniem w komorze hiperbarycznej. Nie chodzi o to, że ta procedura może pogorszyć stan pacjenta, ale ponieważ krwotok w obszarze mózgu wymaga natychmiastowej interwencji chirurgicznej. Wykluczenie krwotoków wewnątrzczaszkowych i skrzepów krwi, które również mogą być przyczyną ostrych stanów neurologicznych, jest ważnym krokiem, ponieważ brak tych czynników potwierdza diagnozę związanego z nurkowaniem AGE i uzasadnia terapię hiperbaryczną.

## **DCS: problemy z bąbelkami**

DCS jest związane z nasycaniem się gazem obojętnym (azotem lub helem) tkanek i wynurzaniem się do środowiska z obniżonym ciśnieniem otoczenia, gdzie eliminacja gazu może doprowadzić do formowania się pęcherzyków. A to wywołuje stan zapalny i uraz tkanek.

Aby zrozumieć tę chorobę należy poznać prawa gazowe Boyle'a, Henry'ego i Daltona. Prawo Boyle'a wyjaśnia, dlaczego zanurzając się musimy wdychać coraz więcej molekuł gazu z każdym oddechem, aby utrzymać ciśnienie w płucach równe ciśnieniu otoczenia. Zwiększona ilość molekuł gazu w płucach w porównaniu do ich zawartości w krwi i tkankach wytwarza gradient ciśnienia, który zgodnie z prawem Henry'ego powoduje rozpuszczanie się gazu w krwi. Które z tych molekuł i w jaki sposób będą absorbowane przez krew definiuje prawo Daltona, a wpływ na to mają różnice w przepływie krwi do różnych części ciała człowieka.

Im dłużej i głębiej nurkujemy, tym więcej gazu zaabsorbuje nasz organizm. Gdy dostatecznie duża ilość cząsteczek gazu obojętnego wytrąci się z roztworu podczas wynurzania i utworzy pęcherzyki, może dojść do lokalnych i ogólnosystemowych stanów zapalnych, którym towarzyszy reakcja naczyniowa. To może potencjalnie prowadzić do szeregu objawów klinicznych. W odróżnieniu od AGE, pęcherzyki DCS mogą istnieć w obiegu żylnym i w tkankach, ale symptomy mogą nie wystąpić przez wiele godzin od nurkowania.

DSC jest związany z ilością gazu obojętnego (stres dekompresyjny) i obecnością pęcherzyków we krwi. Mimo, że duża ilość pęcherzyków (mierzona w badaniu ultrasonograficznym) nie jest sposobem diagnostyki DCS, wskazują na podwyższony poziom stresu dekompresyjnego i bardziej są łączone z wystąpieniem DCS niż w przypadku małej ilości pęcherzyków. Czas wystąpienia symptomów jest związany z ilością gazu obojętnego: większa ilość wiąże się z szybszym wystąpieniem symptomów. Fascynującym aspektem DCS jest to, że symptomy DCS pojawiają się często znacznie później niż moment wykrycia pęcherzyków. Przez to, wykrycie pęcherzyków jest tylko wskaźnikiem stresu dekompresyjnego, ale nie jest kryterium diagnostycznym.

Obecne badania DCS koncentrują się na markerach biologicznych, które mogą być wykryte we krwi. Badacze sprawdzają potencjalne związki pomiędzy stresem dekompresyjnym a obecnością mikrocząsteczek membranowych (związanych z błoną komórkową) cząsteczek zrzuconych z różnych typów komórek) we krwi. Poziom mikrocząsteczek wzrasta w połączeniu z wieloma chorobami, jak również w wyniku naprężeń ścinających wywołanych przez pęcherzyki we krwi. Według hipotezy roboczej, pewne mikrocząsteczki (prawdopodobnie wywołane przez pęcherzyki gazu obojętnego) mogą inicjować, być

znacznikiem lub wpływać na reakcję w postaci stanu zapalnego, który prowadzi do DCS. Badania wykazują, że poza czystym modelem pęcherzykowym. Wprawdzie pęcherzyki we krwi grają główną rolę w powstawaniu DCS, ale ich obecność lub nieobecność nie pozwala niezawodnie przewidywać wystąpienia symptomów DCS. Badając ten problem na poziomie molekularnym możemy dowiedzieć się więcej o DCS, dostarczając wiedzy, która zwiększy efektywność zapobiegania i leczenia tej choroby.

## Leczenie

Tlen hiperbaryczny (ang. Hyperbaric oxygen, HBO) jest ostatecznym sposobem leczenia DCS i AGE. Zanim to nastąpi podanie poszkodowanemu do oddychania 100 procentowy tlen może przyspieszyć wypłukiwanie gazu obojętnego z organizmu i złagodzić symptomy, zwiększając przy tym efektywność leczenia.

Najczęściej stosuje się początkowe leczenie w komorze hiperbarycznej według tabeli leczenia U.S. Navy Treatment Table 6. W zależności od statusu pacjenta, takie leczenie może być rozszerzone lub powtórzone. DCI jest leczone z taką samą efektywnością w jedno- lub wieloosobowych komorach hiperbarycznych. Jednoosobowa komora służy tylko jednemu pacjentowi i nie może mu towarzyszyć personel medyczny. W komorach wieloosobowych można leczyć wielu pacjentów i może im towarzyszyć personel medyczny, co jest istotne w przypadku poważnego stanu pacjenta.

## Ewakuacja

Wypadki nurkowe mogą być straszne. A kiedy podejrzewa się DCI wielu nurków nie bierze pod uwagę innych wyjaśnień dla symptomów. Aby upewnić się, że inne poważne urazy czy choroby są brane pod uwagę, DAN zaleca, aby poszkodowany nurek poddał się badaniu w najbliższym szpitalu. Jeśli faktycznie zdiagnozowano DCI, personel i – jeśli potrzeba – DAN zorganizują transport do właściwego ośrodka hiperbarycznego.

Wypadki nurkowe wywołują wiele pytań. Jak już się skontaktujesz ze służbami ratowniczymi, zadwoń na linię alarmową DAN, pod numerem +39 06 4211 5685, lub zachęć personel medyczny ośrodka do kontaktu z DAN. DAN może udzielić informacji medycznej jak również pomóc w planowaniu i koordynacji ewakuacji medycznej.

## Prawa gazowe istotne dla zrozumienia DCI

**Prawo Boyle'a:** przy stałej temperaturze, objętość danego gazu jest odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia otoczenia.

*Aby utrzymać stałą objętość płuc podczas zanurzania się podczas nurkowania, wdychamy proporcjonalnie więcej molekuł gazu z każdym oddechem.*

**Prawo Daltona:** Całkowite ciśnienie wywołane przez mieszaninę gazów jest równe sumie ciśnienia parcjalego każdego gazu w mieszaninie.

*Gdy z każdym oddechem wdychamy więcej molekuł gazu podczas zanurzania, potencjalny wpływ zwiększonego ciśnienia parcjalego staje się ważny. Narkoza azotowa wynika ze zwiększonego ciśnienia parcjalego azotu.*

**Prawo Henry'ego:** W stałej temperaturze ilość gazu, który rozpuszcza się w cieczy jest wprost proporcjonalna do ciśnienia parcjalego gazu ponad powierzchnią cieczy. W kategoriach fizjologicznych, to ciśnienie występuje w naszych płucach w porównaniu do ciśnienia gazu w naszej krwi.

*Im większe jest ciśnienie gazu w naszych płucach tym więcej gazu rozpuści się w naszej krwi i tkankach. To jest podstawa choroby dekompresyjnej*