

Najnowsze odkrycia na temat zespołu zaburzeń dekompresyjnych DCI i fizjologii nurkowania (część 1)

Pęcherzyki będące przyczyną choroby dekompresyjnej (ang. Decompression Sickness, DCS) są znane nurkom na całym świecie. Gazem, który tworzy te pęcherzyki, jest zazwyczaj azot, gaz obojętny. DCS jest znanym ryzykiem związanym z nurkowaniem, powoduje rumienie na skórze i ból stawów, jeśli choroba ma lekki przebieg. W ciężkich przypadkach może spowodować trwały paraliż lub śmierć. Kiedy gaz obojętny, który nasycza tkanki ciała podczas wystawienia na działanie wyższego ciśnienia, podlega zbyt szybkiej dekompresji, może tworzyć krążące w krwioobiegu lub w umiejscowione w tkankach pęcherzyki, które mogą blokować naczynia krwionośne, zwłaszcza te najmniejsze w ludzkim ciele, włosowate. Jeśli dzieje się tak w mózgu, rdzeniu kręgowym lub sercu, konsekwencje mogą być poważne lub nawet katastrofalne. Lepsze zrozumienie i przeciwdziałanie gra kluczową rolę w unikaniu tego ryzyka i zmniejszeniu potencjalnych konsekwencji.

W 2009 roku grupa 14 zaangażowanych badaczy rozpoczęła prace na projektem PHYPODE (ang. PHYsioPathology Of Dekompression, czyli fizjopatologia dekompresji). Jest on finansowany przez Unię Europejską, poprzez inicjatywę Marie Curie Initial Training Networks. Jego celem jest badanie choroby dekompresyjnej DCS poza jej czysto fizyczne procesy.

Teraz, cztery lata później, projekt się zakończył. Wyniki badań były przedstawione na konferencji zatytułowanej „The Science of Diving”, którą zorganizował DAN (Divers Alert Network Europe) w ISEK, w Brukseli, Belgia, 20 grudnia 2014 roku.

Założenia naukowców

Jako że pewne przypadki DCS wydają się pojawiać w sposób nie zawiniony i nie mogą być wytłumaczone tylko przez samo przesylenie tkanek, założono, że obecnie stosowane modele dekompresyjne, używane w komputerach nurkowych, nie są dość bezpieczne i wymagają zmiany. Co więcej, zakłada się, że DCS nie jest tylko wydarzeniem o charakterze fizycznym, ale również złożonym procesem patofizjologicznym, na który wpływają i/lub jest wywoływany przez wiele czynników, które mogą się zmieniać pomiędzy poszczególnymi osobami. To prowadzi do założenia, że każdy indywidualny nurek ma swoje własne ryzyko DCS. Zatem, dalsze badania w tym zakresie będą skupiały się na opracowaniu bardziej zaawansowanej technologii nurkowej czasu rzeczywistego. Wynikiem badań miało być opracowanie nowego „super komputera nurkowego” z nowym algorytmem i który byłby w stanie monitorować w czasie rzeczywistym dane medyczne nurka (przed, w trakcie i po nurkowaniu). Dzięki temu w przyszłości nurek stał by się pewnego rodzaju Nurkiem Bionicznym.

Prezentacje badaczy

Aby lepiej zrozumieć wiele czynników i mechanizmów fizjologicznych potrzebne było wielostronne podejście. Wszelkie badania zwiększające wiedzę na temat mechanizmów i procesów prowadzących do DCS są wartościowym krokiem wspierającym bezpieczeństwo nurkowania. A to zawsze był element misji DAN. To dlatego DAN stworzył DSL (ang. Diving Safety Laboratory, Laboratorium bezpieczeństwa nurkowania) w 1994 roku. Celem jego prac było zbieranie wszelkich dostępnych danych na temat rzeczywistych nurkowań, włączając w to wypadki nurkowe. Pod kierownictwem profesora A. Marroni, prezydenta DAN Europe i jednego z wiodących naukowców związanych z projektem PHYPODE, te dane były

analizowane z użyciem podejścia epidemiologicznego, aby zidentyfikować czynniki ryzyka i ich znaczniki.

W 2014 roku baza danych DSL zawierała dane o 39 944 nurkowaniach wykonanych przez 2 615 nurków (2 176 mężczyzn i 439 kobiet, średnia wieku grupy to 33-51 lat).

Do wykrycia krążących pęcherzyków zastosowano technikę dopplerowskiego badania ultrasonograficznego. Naukowcy mogli zatem wykazać, że pęcherzyki są wykrywane w czasie od 30 do 75 minut od wynurzenia na powierzchnię, ale zanikają po 1,5 godziny. Okazało się, że produkcja pęcherzyków zwiększa się wraz z wiekiem, ale płeć nurka nie ma żadnego wpływu.

Zaprezentowano również nowe odkrycia na temat związane z **lataniem po nurkowaniu**. Echokardiografia przeprowadzona podczas lotu na nurkach wracających z tygodniowej wyprawy nurkowej pokazała, że nurkowie, którzy normalnie wytwarzają dużo pęcherzyków po swoich znurkowaniach, mogą potrzebować dłużej czekać (36-42 godziny, zamiast tylko 24 godzin) zanim po ostatnim nurkowaniu wsiądą do samolotu.

W związku innymi zagrożeniami związanymi z nurkowaniem, są dobre wiadomości dla **nurków z cukrzycą**. Ostatnio opracowane nowe technologie pozwalają na stałe monitorowanie poziomu glukozy we krwi podczas nurkowania. Badania były przeprowadzone za pomocą wodoszczelnych monitorów, z czujnikami umieszczonymi wewnątrz mokrego skafandra nurkowego.

Badania na temat **wywołanej przez wstrzymywanie oddechu rozedmy płuc** przyniosły pewne spostrzeżenia na temat genetycznego uwarunkowania, które może prowadzić do wystąpienia DCS u płetwonurków. Zgodnie z wieloma prowadzonymi ostatnio badaniami, pewne genotypy produkujące enzym zwany e-NOS i zawierającymi kwas glutaminowy zamiast kwasu asparaginowego, prowadzą do zwiększenia produkcji tlenu azotu (NO). A to może mieć ochronny efekt przeciwko DCS.

Ogólnie wiemy wiele o **pęcherzykach**, ale aż do niedawna mechanizm ich powstawania był nieznan. C. Balestra, profesor i szef Laboratorium Fizjologii Integracyjnej w the Haute-Ecole Paul Henri Spaak, Bruksela, Belgia, przeprowadził badania nad formowaniem się pęcherzyków w dekompresji hiperbarycznej, na przykład formowania się pęcherzyków gazowych azotu w systemie naczyniowym nurka po nurkowaniu, i związanych z tym interaktywnych procesów fizycznych i fizjologicznych.

Aby móc zobaczyć wzrost pęcherzyków i gęstość, oraz zbadać mechanizm formowania się pęcherzyków¹, Balestra użył eksperymentalnej metody zapisu optycznego. Następnie zbadał dwa rodzaje powierzchni tkanek, hydrofilową i hydrofobową. Czyli mięśnie w porównaniu z tkanką tłuszczową. Zauważył, że jest znacząco więcej pęcherzyków w tkance tłuszczowej (hydrofobowej) niż w mięśniowej (hydrofilowej). Panuje przekonanie, że jest to uzależnione od tak zwanych hydrofobowych plam nukleinowych, w których tworzą się pęcherzyki. Wiek zdaje się mieć wpływ na zwiększanie się ilości tych plam hydrofobowych w systemie naczyniowym człowieka, co może tłumaczyć większe ryzyko DCS u osób starszych, ale również większe ryzyko takich chorób jak Alzheimer, celiakia, alergie i choroby nowotworowe. Plamy hydrofobowe na wewnętrznej powierzchni naczyń krwionośnych, gdzie może pojawiać się faza gazowa są przez to bardzo ważnym obszarem badań interdyscyplinarnych, a z odkryć w tym zakresie korzystać będą nie tylko nurkowie.

Peter Germonpré (dyrektor medyczny Centrum Hiperbarycznej Terapii Tlenowej Szpitala Wojskowego w Brukseli, Belgia) podkreśla znaczenie tak zwanego uwarunkowania wstępnego (ang. Preconditioning), czegoś co może zrobić każdy nurek, aby zmniejszyć ryzyko DCS. Zasadniczo chodzi o to, że zakłada się istnienie dwóch mechanizmów redukujących ilość pęcherzyków: biochemiczny, to znaczy wpływający na oksydacyjną reakcję zapalną wywołaną przez obecność pęcherzyków dekompresyjnych w ciele, oraz mechaniczny, który zmniejsza ilość „zarodków” pęcherzyków we krwi. Aby zmniejszyć ilość pęcherzyków, przed nurkowaniem zalecane są: ćwiczenia fizyczne, ciepło, nawodnienie, oddychanie tlenem, poddanie się

wibracjom i konsumpcja pokarmów zawierających przeciwutleniaczy.

Żyłny lub tętniczy zator gazowy przez długi czas był uznawany za przyczynę i znacznik DCS. Im więcej pęcherzyków we krwi, tym bardziej prawdopodobne jest to, że wystąpią symptomy choroby dekompresyjnej. Jak powiedzieliśmy to wcześniej, pęcherzyki tworzą się w hydrofobowych plamach nukleinowych na powierzchni naczyń krwionośnych. Konsekwentnie, utrzymywanie swojego układu naczyniowego w dobrym stanie, jak również i całe swoje ciało, może zmniejszyć ryzyko DCS.

Zasadniczo, ćwiczenia fizyczne zwiększają wentylację i pomagają usuwać pęcherzyki. Stres cieplny spowoduje produkcję protein zabezpieczenia termicznego, które mogą zapobiegać tworzeniu się pęcherzyków. Należyte nawodnienie ma znany efekt zapobiegawczy, ale nawodnienie musi być zrobione na długo przed nurkowaniem, tak aby woda dotarła do wszystkich tkanek organizmu. Picie dużej ilości wody tuż przed nurkowaniem nie pomoże. Spowoduje tylko zwiększenie objętości płynów w naczyniach, co wywoła gwałtowną utratę płynów podczas nurkowania, a przez to zwiększy ryzyko wystąpienia DCS. Poddanie całego ciała zewnętrznym wibracjom mechanicznym przed nurkowaniem zmniejszy ryzyko DCS. Prawdopodobnie mechanizm działania tych wibracji będzie powodował uwolnienie istniejących mikropęcherzyków i ich eliminację z krwioobiegu. Niemniejszą rolę ma również układ limfatyczny, który również eliminuje tworzące pęcherzyki mikrozarodki z limfy. Wibracje również wspomagają ten proces. No i w końcu, ale wcale nie najmniej ważne jest oddychanie 100% tlenem przed nurkowaniem jest efektywnym sposobem wypłukiwania azotu z organizmu.

Jak widać, łagodne ćwiczenia fizyczne przed nurkowaniem mają znany efekt zapobiegawczy, ale ciężki wysiłek w połączeniu z nurkowaniem jest uznawany za istotny czynnik ryzyka wpływający na wystąpienie DCS. Wynika to z tego, że wywołuje stan zapalny naczyń krwionośnych. Wpływ różnego nasilenia wysiłku przed, po i pomiędzy znurkowaniami był badany przez Z. Dujic z Wydziału Medycznego Uniwersytetu w Splicie, Chorwacja.

Ćwiczenia po nurkowaniu mogą wywoływać arterializację – otwieranie się naczyń, ułatwiające przenoszenie pęcherzyków z obiegu żylnego do tętniczego – zjawisko nazywane również przetoką (ang. Shunts), które związane jest ze zwiększonym ryzykiem DCS. Arterializacja różni się między osobnikami. W pewnych przypadkach zwykłe płynięcie po powierzchni lub przenoszenie sprzętu po nurkowaniu może być dość męczące, by przekroczyć próg arterializacji.

Okazało się, że arterializacji podczas ćwiczeń można uniknąć przez oddychanie 100% O₂. O₂ działa obkurczająco na naczynia krwionośne i może zamknąć przetoki. To może również wyjaśniać mechanizm odpowiedzialny za pozytywne wyniki związane z oddychaniem O₂ w ramach pierwszej pomocy w przypadku DCS.

W dwóch porównywalnych badaniach, ćwiczenia aerobowe przed nurkowaniem anaerobowe kolarstwo miały ochronny efekt i zmniejszyły ilość microcząsteczek (to znaczy zarodków pęcherzyków). Ale ćwiczenia po nurkowaniu powodowały otwieranie się przetok i arterializację w 50% przypadków. Podsumowując, nurkowie, którzy mają dużo pęcherzyków i łatwo otwierające się przetoki są narażeni na wysokie ryzyko wystąpienia DCS.

Inne interesujące odkrycia, takie jak rola śródbłonna naczyniowego w DCS, toksyczności tlenowej i koncepcji „bionicznego nurka” będą przedstawione w drugiej części artykułu, który będzie opublikowany w kolejnym wydaniu Alert Diver.

Polecana publikacja

“The Science of Diving, Things your instructor never told you”

„**Nurkowanie i nauka. Rzeczy, o których twój instruktor nigdy ci nie mówił**”. Opublikowane przez Lambert Academic Publishing, może być zakupione online [tutaj](#), lub zamówione w każdej księgarni za pomocą numeru ISBN: 978-3-659-66233-1. Ta książka jest sprzedawana w cenie 49.90 €, a dochód z jej sprzedaży jest przekazywany na EUBS, aby promować rozwój badań medycyny nurkowej.

Zasoby edukacyjne: korzyści z członkostwa w DAN

Członkowie DAN regularnie otrzymują informacje na temat interesujących konferencji, seminariów i innych imprez poświęconych bezpieczeństwu nurkowania. Specjalne rabaty na bilety lub bezpłatne zaproszenia do wzięcia udziału w konferencjach są jednymi z wielu [korzyści z członkostwa w DAN](#).

Abyś był na bieżąco z informacjami o wydarzeniach podobnych do konferencji PHYPODE, prosimy abyś [zarejestrował się na stronie DAN Europe](#). Będziesz regularnie otrzymywał nasze biuletyny i wartościowe informacje o planowanych szkoleniach z pierwszej pomocy, ubezpieczeniach nurkowych, webinarach i wiele więcej.