

# Uwarunkowania wstępne i DCI

Jest powszechnie uznane, że najważniejszymi czynnikami ryzyka zespołu zaburzeń ciśnieniowych (decompression illness – DCI) są czas nurkowania i głębokość. Nurkowie są bardzo zainteresowani tym, jak inne czynniki, np. wysiłek i stan nawodnienia organizmu wpływają na ryzyko DCI. Uwarunkowania wstępne opisują użycie fizjologicznej lub farmakologicznej stymulacji do zwiększenia odporności na konkretne urazy czy choroby. W tym artykule szukamy zrozumienia, czy są dostępne pewne działania uwarunkowujące wstępnie, które nurkowie mogą użyć do zmniejszenia ryzyka DCI. Zapytaliśmy ekspertów.

**Podstawową rekomendacją w zakresie wysiłku i nurkowania jest, aby nurkowie unikali intensywnego wysiłku przed, podczas i po nurkowaniu. Ale pojawiają się sugestie, że pewne ćwiczenia mogą zmniejszyć ryzyko DCI. Jak mogą ćwiczenia zwiększać czy zmniejszać ryzyko DCI i co zaleciecie nurkom w tym temacie?**

**Constantino Balestra:** Coraz więcej badaczy wskazuje na korzyści z ćwiczeń przed nurkowaniem. Mechanizm nie został definitywnie określony, ale wygląda na to, że chodzi o ruch. Korzyści wydają się polegać na akcji serca, układu krwionośnego i systemu limfatycznego.

**Michael Bennett:** Związek pomiędzy ćwiczeniami i nurkowaniem przybrał bardzo interesującą formę w ostatnich latach. Tradycyjny pogląd, że ćwiczenia przed nurkowaniem są czynnikiem ryzyka DCI. Jest to związane z potencjalnego zwiększenia poboru azotu przez tkanki na skutek hiperdynamicznego krążenia. Ale ostatnie badania wskazują, że ten pogląd może być zbyt uproszczony. Zarówno badania na zwierzętach jak i ludziach sugerują, że pojedyncza kolejka umiarkowanych lub ciężkich ćwiczeń na dwie do 24 godzin przed symulowanym nurkowaniem może zredukować powstawanie pęcherzyków (i prawdopodobnie ryzyko DCI). Nie jest jeszcze jasne, dlaczego tak się dzieje, ale wydaje się, że powstawanie tlenku azotu (NO) podczas ćwiczenia może ułatwiać eliminację jąder, gdzie pęcherzyki mają tendencję do powstawania lub w inny sposób zmieniają komórki wyściełające naczynia krwionośne (śródbłonek). Jest kilka alternatywnych hipotez i jest to obszar bardzo aktywnych badań. Na przykład Jean-Eric Blatteau i koledzy postulowali, że efekt ochronny jest spowodowany umiarkowaną hipowolemią (ubytkiem krwi). Obecnie osobiście doradzam nurkom, że nie ma dowodów, że ćwiczenia przed nurkowaniem są szkodliwe, jeśli wykonywane są do dwóch godzin przed nurkowaniem. Ale nie zachęcam ich aktywnie do podejmowania ćwiczeń.

Jest znacznie mniej kotrowersji na temat efektów ćwiczeń podczas i po nurkowania na ryzyko DCI.

Wysiłek podczas nurkowania zwiększa pobór azotu i jego dystrybucję w tkankach i przez to jest określane jako zwiększający ryzyko DCI. Natomiast łagodne ćwiczenia podczas dekompresji są określane jako te, które pomagają w odgazowaniu i zmniejszają ryzyko DCI. Intensywny wysiłek po nurkowaniu jest niezalecany, bo może potencjalnie wywoływać powstawanie pęcherzyków poprzez mechaniczną stymulację.

**Alf Brubakk:** Regularne ćwiczenia są zalecane dla nurków. Ćwiczenia aerobowe przed nurkowaniem będą zmniejszały formowanie się pęcherzyków. Ćwiczenia po nurkowaniu mogą zwiększyć lub zmniejszyć formowanie pęcherzyków. Efekty będą zależały od ogólnego poziomu sprawności. I póki co nie mamy dość wiedzy na ten temat, by móc przedstawić konkretną propozycję.

**Więszkość ekspertów zgadza się, że poważne odwodnienie organizmu może zwiększyć ryzyko DCI. Ale pojawiają się głosy, że łagodne do średniego odwodnienia może zmniejszyć ryzyko DCI. Co o tym myślicie i co będziecie zalecali nurkom?**

**Balestra:** Jest pogląd, który mówi, że "normalny" poziom plazmy krwi, czy nawet umiarkowanie zredukowana jej ilość może potencjalnie ograniczyć nasycenie azotem tkanek podczas nurkowania. To, co z tego należy zapamiętać to to, że nie należy zbyt gwałtownie lub za bardzo zwiększać poziomu plazmy krwi, ponieważ to zwiększa wytwarzanie się moczu nie wpływa na nawodnienie tkanek. Moją sugestią jest wypić szklanekę wody co 15-20 minut aby pozwolić tkankom nawodnić się, bez zwiększania objętości plazmy..

**Bennett:** Pewne opracowania badające efekt wysiłku i ekspozycji na ciepło na ryzyko wystąpienia DCI mogą być interpretowane jako sugestie, trochę paradoksalna, że łagodne odwodnienie ma działanie ochronne. Jest to kosekwencja możliwego mechanizmu, wg którego te warunki powodują ochronę przed powstawaniem pęcherzyków. Blatteau i współpracownicy sugerują, że umiarkowanie odwodnienie i zmniejszona objętość krwi (hipowolemia) wywołane przez ćwiczenia przed nurkowaniem lub pobyt w saunie mogą zmniejszyć przepływ krwi z serca i ograniczyć dostarczanie azotu do tkanek. Jest kilka rywalizujących teorii, i nie znam żadnych danych, które by wspierały tę konkretną teorię.

Ta sugestia jest właściwie zaskakująca. Mimo, że ryzyko związane z odwodnieniem nie zostało jeszcze dobrze zdefiniowane, wszystko co wiemy wydaje się sugerować, że przyjęcie płynów przed nurkowaniem jest raczej dobrą rzeczą, a nie szkodliwą. Na przykład w 2008 roku Gempp i współpracownicy opublikowali badania, który konkluzją było: "doustne przyjmowanie płynów przed nurkowaniem zmniejsza pęczęzyki w krwioobiegu, przez co oferują relatywnie łatwy środek zmniejszania ryzyka choroby dekompresyjnej". W tym badaniu, wstępne nawodnienie w ilości 1,3 litra mieszanki soli fizjologicznej i glukozy ograniczyło odwodnienie i przeciwdziało hipowolemii wywoływanej przez nurkowanie ale nie zmieniło napięcia powierzchniowego plazmy krwi. Moją rekomendacją jest, że nurkownicy powinni zapewnić sobie właściwe nawodnienie przed nurkowaniem i aktywnie starali się unikać nurkowania jeśli są odwodnieni.

**Brubakk:** Nie znam żadnych danych, które by to wspierały. Ale nie myślę, by teoria to mogła sugerować. Osobiście zalecam nurkom, by byli dobrze nawodnieni.

**Pewni badacze proponowali przyjmowanie przed nurkowaniem antyoksydantów, takich jak witamina C, inne odżyvky czy leki, takie jak nitrogliceryna, aby ograniczyć ryzyko DCI. Czy takie środki mogą zmniejszyć ryzyko DCI?**

**Balestra:** Doświadczenia pokazują, że takie podejście w rzeczywistości nie wpływa na formowanie pęcherzyków, ale na funkcje śródbłonna. Po nurkowaniu, kiedy funkcje śródbłonna są przejściowo upośledzone, antyoksydanty mogą przeciwdziałać takiemu upośledzeniu, ale nie ma dowodu, że wytwarzanie pęcherzyków może być ograniczone przed te środki. Trwają badania na ten temat.

**Bennett:** Ostatnio zaobserwowaliśmy zwiększające się zainteresowanie modyfikacją funkcji śródbłonna przez substancje farmakologiczne. Generalnie, największe zainteresowanie towarzyszy środkom, które zwiększają ilość tlenku azotu (NO) i wynikające z tego efekt na obszary (prawdopodobnie w śródbłonku), gdzie powstają pęcherzyki gazowe. Takie powstawanie pęcherzyków może powodować uszkodzenie śródbłonna, i tworzyć przeszkody w naczyniach krwionośnych i aktywować kaskadę kagulacyjną - zmiany, które mogą być bezpośrednio odpowiedzialne za kliniczny obraz DCI. Rzeczywiście, mimo, że jest jeszcze dość wcześnie, są pewne dowody eksperymentalne z badań na zwierzętach i na ludziach, że przyjęcie substancji wymienionych wcześniej może znacząco ograniczyć ryzyko DCI. Zasadniczo, donory tlenku azotu (takie jak nitrogliceryna) i antyoksydanty (jak witamina C) przeciwdziałają czynnikom utleniającym, które są powodem uszkodzenia śródbłonna i mogą być powodem urazów wywołanych przez pęcherzyki są odpowiedzialne za tak rozległe efekty u nurków.

To jest fascynujący obszar do badań i może już wkrótce otrzymamy jakieś definitywne zalecenia dla

nurków. W tym momencie jednak powinniśmy podchodzić do tematu z ostrożnością. Wiele z tych czynników ma szerokie spektrum działania – niektóre z efektów ich użycia mogą być bardziej szkodliwe niż dobroczynne. – a póki co nie mamy praktycznych dowodów, że można zapobiec klinicznej postaci DCI przy pomocy tych środków.

**Brubakk:** Antyoksydanty wydają się redukować powstawanie pęcherzyków. Może być też tak, że antyoksydanty redukują odpowiedź zapalną, która może grać rolę w DCI. Jest to obszar, który wymaga dalszych badań, ale już teraz wydaje się być bardzo obiecujący. A chwili obecnej wiemy zbyt mało na temat efektów antyoksydantów na zdrowych ludzi.

**Rune Djurhuus:** Tlenek azotu (NO) jest małą molekułą sygnalizacyjną, która powoduje relaksację i rozszerzenie naczyń krwionośnych, Badania na zwierzętach wskazują, że podawanie substancji farmakologicznych, (na przykład nitrogliceryny), która wydziela NO do krwi może redukować formowanie się pęcherzyków i zwiększyć przeżycie po dekompresji. Odwrotnie, hamując enzymy syntazy tlenu azotu (NOS), które generują NO w warstwie śródbłonka wyściełającej wewnątrz naczyń krwionośnych znacząco zwiększa symptomy DCI. Co więcej, ćwiczenia fizyczne również są stymulujące generowanie NO w śródbłonku. Przeważającą hipotezą jest to, że tworzenie tlenu azotu (NO) gra znaczącą rolę w ochronie systemu naczyniowego przeciwko niekorzystnym efektom formowanie się pęcherzyków podczas dekompresji.

Nurkowanie zazwyczaj wiąże się z podwyższonym ciśnieniem parcjalnym tlenu. Ostatnio wykazaliśmy, że takie środowisko hiperoksyjne nie ma efektu na zdolność NOS do wytwarzania NO w izolowanej komórce ludzkiego śródbłonka. Tym niemniej enzym w normalnym funkcjonowaniu jest zależny od wielu innych czynników. W szczególności jest podatny na tetrahydrobiopteryn (BH4). Ten związek może łatwo ulec utlenieniu, a forma utleniona nie wspiera syntezy NO. Wystawiając komórkę ludzkiego śródbłonka na środowisko hiperoksyjne (około trzy razy większe ciśnienie parcjalne tlenu niż normalnie) wywołani spadek koncentracji BH4 o około 50%. W konsekwencji ekspozycja na środowisko hiperoksyjne podczas nurkowania może oznaczać spadek poziomu BH4, które oznacza ograniczenie tworzenie NO przez NOS i potencjalnie zwiększać ryzyko DCI. Należy podkreślić, że te rezultaty uzyskano z modelu eksperymentalnego, ale jeśli ten mechanizm może być wyjaśniony i zweryfikowany na zwierzętach (a najlepiej na ludziach), można pomyśleć o przeciwdziałaniu. Te przeciwdziałania mogą obejmować zwalczanie efektów hiperoksji przez dodatkową podaż BH4 lub podanie antyoksydantów, jak witamina C, która pomogła utrzymać poziom BH4 w modelu eksperymentalnym. W miarę postępu badań inne czynniki mogą okazać się być bardziej istotne.

**Kilka innych czynników, jak na przykład poddanie wibracji całego ciała przed nurkowaniem, wstępne oddychanie tlenem, nurkowania “rozgrzewkowe” czy sauna przed nurkowaniem są proponowane jako działania ograniczające ryzyko DCI. Czy jakiegokolwiek praktyczne zastosowania pojawiły się z tych propozycji?**

**Balestra:** Te techniki uwarunkowań wstępnych są wprost związane z umiarkowaną aktywnością krążeniową (sauna) lub limfatyczną (wibracja całego ciała, wstępne oddychanie tlenem). W pewnych przypadkach wstępne oddychanie tlenem było wykonywane zbyt długo przed nurkowaniem, aby jakiegokolwiek efekt od-azotowania mógł być brany pod uwagę. Wszystkie te techniki zdają się być bardziej związane z umiarkowanym ograniczeniem ilości jąder pęcherzyków niż z de-azotowaniem

**Bennett:** Wszystkie te proponowane środki tworzą próbę zmniejszenia ryzyka DCI poprzez uwarunkowanie wstępne przeciwko powstawaniu pęcherzyków. Jedynym powszechnie stosowanym dla nurków może być nurkowanie rozgrzewkowe, podczas którego nurek podejmujący wymagające nurkowanie (zazwyczaj

głębokie) wykonuje serię nurkowań o zwiększającej się głębokości wraz ze zbliżającą się datą zaplanowanego najgłębszego nurkowania. Podczas gdy mamy mało dowodów za lub przeciw prawdziwemu uwarunkowaniu w takim podejściu, jest kilka dobrych powodów, dla których nurkowania rozgrzewkowe mogą być użyteczne. Chodzi tu o zaznajomienie się ze sprzętem i warunkami w morzu, sprawdzenie sprzętu w mało stresującym środowisku i powtórzenie dobrych praktyk nurkowania.

Są podejmowane wysiłki, zwłaszcza w Europie, aby oszacować rolę różnych strategii uwarunkowania, włączając te wymienione powyżej. Na przykład Blatteu i współpracownicy, zgłosili, że sauna przed nurkowaniem redukuje ilość pęcherzyków po symulowanym nurkowaniu przez ludzi ochotników. Obecnie jest to jeszcze tylko teorią i nie znam póki co żadnych praktycznych zastosowań wynikających z tych badań.

**Brubakk:** Nie pojawiły się żadne praktyczne zastosowania, ale dane sugerują, że te techniki mogą zredukować powstawanie pęcherzyków.

### **Poznaj naszych ekspertów**

**Costantino Balestra**, Ph.D., jest wice prezesem działu badań i edukacji w DAN Europe, dyrektorem regionalnym DAN Europe na Francję i kraje beneluxu i wice prezesem Europejskiego Stowarzyszenia Podwodnego i Baromedycyny (European Underwater and Baromedical Society -EUBS). Jest również kierownikiem Laboratorium Środowiska, Starzenia i Fizjologii Pracy (Environmental, Aging and Occupational Physiology Lab) w szkole wyższej Paul – Henri Spaak w Brukseli, Belgia. Jego głównymi obszarami badań jest fizjologia środowisk ekstremalnych i sportu.

**Michael Bennett**, M.D., FANZCA, ANZCA Cert DHM, jest starszym specjalistom w szpitalu Księcia Wallii (Prince of Wales Hospital) i dożywotnio profesorem medycyny hiperbarycznej na Uniwersytecie Nowej Południowej Walii w Sydney, Australia. Ma 17 lat doświadczenia w zdalnym zarządzaniu pomocą w wypadkach nurkowych na południowym Pacyfiku. Swój tytuł doktorski otrzymał za pracę na temat nurkowania i medycyny hiperbarycznej.

**Alf O. Brubakk**, M.D., jest profesorem fizjologii środowiska na Norweskim Uniwersytecie Nauki i Technologii (Norwegian University of Science and Technology) w Trondheim, Norwegia, Ma wykształcenie w zakresie kardiologii i anestezjologii. Od ponad 20 lat zajmuje się chorobą dekompresyjną. Studiuje również inne obszary fizjologii środowiska, w tym również wpływ zimna i przestrzeni kosmicznej.

**Rune Djurhuus**, Ph.D., jest głównym naukowcem w zakresie biochemii i toksykologii w Norwegian Underwater Intervention w Bergen, Norwegia. Jego badania koncentrują się na chemicznych zanieczyszczeniach gazu oddechowego nurków (toksykologia hiperbaryczna) i komórkowe mechanizmy obronne związane z urazami śródbłonna na skutek choroby dekompresyjnej.