# Perspektywa stworzenia osobistych planów dekompresji

## *Dlaczego przyszłość bezpieczeństwa nurkowania zależy od złamania kodu ludzkiej fizjologii*

Ograniczona technologia, kompletny brak powtarzalnych danych oraz potrzeba stworzenia możliwych do powtórzenia, modyfikowalnych algorytmów stoją między Tobą a spersonalizowanym modelem dekompresyjnym dla Twojego kolejnego nurkowania. Brzmi to dość przytłaczająco – bo tak jest.

Przykra prawda jest taka, że najlepsi i najbardziej inteligentni naukowcy zajmujący się medycyną hiperbaryczną poświęcili swoje kariery, aby zrobić ogromne i często fascynujące postępy w badaniach, których nie tylko nie da się zastosować w realnym świecie, ale nie można ich skorelować z żadnym już odkrytym parametrem fizjologicznym lub biologicznym. Istnieją mocne dowody na to, że chorobę dekompresyjną (DCS) wywołują pęcherzyki, które tworzą się w organizmie z przesyconego gazu rozpuszczonego we krwi i tkankach, ale najnowsze dane sugerują, że sama ilość tych pęcherzyków nie wystarczy, aby przewidzieć, czy u kogoś wystąpią objawy i symptomy DCS[1].

Wiedza, co *najprawdopodobniej* powoduje DCS jest słabą podstawą do tworzenia algorytmów dekompresji, ale kwestia ta jest problematyczna na wszystkich poziomach. Badacze sprawdzali kilkadziesiąt parametrów biologicznych, mając nadzieję, że skorelują je z objawami i symptomami DCS. Niestety nie udało się tego zrobić w rzetelny sposób z żadnym z nich (przynajmniej do tej pory). Ich pomiar jest trudny w laboratorium i w większości przypadków niemożliwy podczas nurkowania, a obecne algorytmy dekompresji nie biorą pod uwagę żadnego z tych parametrów.

**Odejście od probabilistycznych algorytmów dekompresji, których teraz używamy będzie wymagało przełomu w modelach dekompresyjnych, posiadania narzędzi do monitorowania procesów fizjologicznych i zrozumienia fizjologii dekompresji.**

Wprowadzenie spersonalizowanych algorytmów dekompresji będzie wymagać przełomu w modelowaniu dekompresji, wprowadzenia narzędzi monitorujących procesy fizjologiczne i zrozumienia DCS. Jest to bardzo ambitne zadanie, ale istnieje możliwość, że jeden przełom kompletnie zmieni nasze zrozumienie modeli dekompresyjnych – i z tego powodu badania te są tak ekscytujące.

Przyjrzyjmy się bliżej temu, co już wiemy na temat spersonalizowanych modeli DCS, co jeszcze musimy wiedzieć i na jakie badania powinniśmy zwracać uwagę:

## Dlaczego spersonalizowane modele dekompresji nie zostały (jeszcze) stworzone

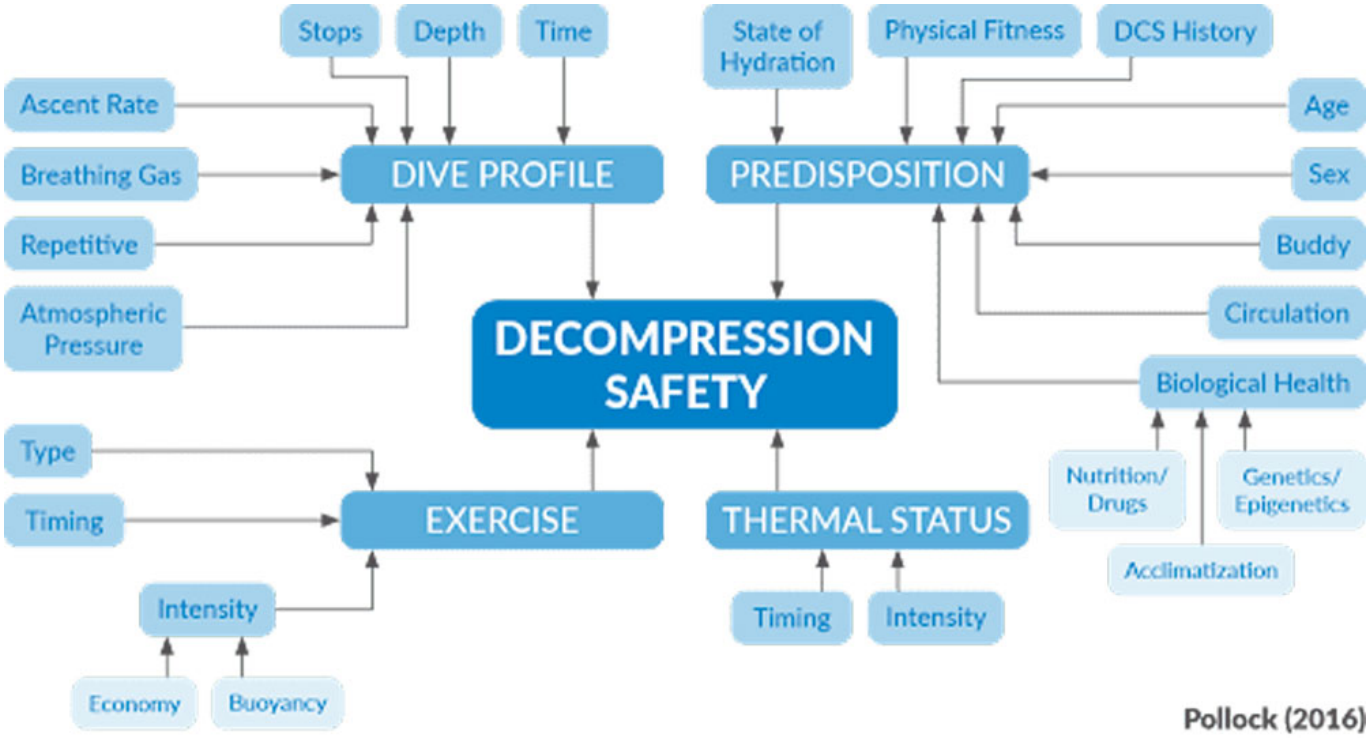
Problemy z modelowaniem dekompresji zaczynają się na najbardziej podstawowym poziomie – naszego zrozumienia DCS. *Sądzimy,* że to pęcherzyki powodują DCS, ale nie ma jeszcze żadnych solidnych danych, które wykazywałyby korelację między ilością pęcherzyków a DCS. Aby dodatkowo skomplikować sytuację, wyniki wielu badań sugerują, że być może urazy są spowodowane nie przez same pęcherzyki, ale przez reakcję organizmu na te pęcherzyki[2]. Bez zrozumienia mechanizmu powstawania DCS nawet najlepsze algorytmy dekompresji są tylko przybliżonym wyliczeniem ryzyka na podstawie badań sprzed kilku dekad. Tak naprawdę wielu z nas wciąż nurkuje, używając algorytmów stworzonych z wykorzystaniem danych z badań DCS na kozach sprzed ponad wieku – jeżeli kozy przeżyły nurkowanie, *prawdopodobnie* Ty też przeżyjesz.

Obecnie używane algorytmy dekompresji w najlepszym wypadku można określić jako prymitywne i „szokująco niezdolne do oceny czasu i wielu złożonych czynników, które mogą mieć wpływ na nasycanie i odsycanie gazem i realne ryzyko” – mówi ekspert w dziedzinie fizjologii dekompresji dr Neal Pollock oraz dodaje, że algorytmy dekompresji są użyteczne do „pierwszej oceny ryzyka – dotarcia na miejsce nurkowe”. Pollock radzi nurkom, aby potem używali algorytmów jako podstawy do wprowadzania konserwatywnych modyfikacji w oparciu o swoje doświadczenie i badania, nawet jeśli bez wątpienia będzie w nich dużo przypuszczeń i domysłów.

Kolejną przeszkodą dla badaczy jest odkrycie parametru do mierzenia ryzyka DCS, a potem stworzenie

technologii do jego oceny w czasie rzeczywistym. Osobista dekompresja wymaga pomiaru *czegoś* u nurka – temperatury, markerów epigenetycznych lub jednego z wielu innych możliwych parametrów fizjologicznych lub biologicznych. Dla większości nurków czynniki te – fascynujące do analizy, ale trudne do oceny – są najciekawszym elementem tej zagadki.

Spersonalizowanie Twoich algorytmów dekompresji i znaczące zmniejszenie ryzyka DCS może nie być osiągalne w momencie, gdy następnym razem wejdziesz do wody. Istnieje jednak realna szansa, że w relatywnie bliskiej przyszłości jedno z prowadzonych właśnie badań wprowadzi totalną rewolucję w sposobie zarządzania ryzykiem u nurka.




## Czynniki, na które będziemy zwracać uwagę w przyszłości

Tworzenie algorytmów i nowych narzędzi do monitorowania nurkowania jest świetną zabawą, ale jeszcze bardziej ekscytujące są badania nad nowymi markerami DCS, które mogą korelować z ryzykiem wystąpienia tej choroby, a nawet prowadzić do prawdziwego zrozumienia mechanizmu powstawania DCS. Jest ich zbyt wiele, aby je tu wymienić i nie wiemy które z nich (i czy jakiekolwiek) ostatecznie pokażą, dlaczego w naszym organizmie tworzą się pęcherzyki, ale w niektórych aspektach potencjalny przełom wydaje się kusząco bliski. Oto dwa obszary, na które należy zwracać uwagę w nadchodzących latach:

**Mikrocząsteczki i reakcja zapalna**

Coraz więcej badań sugeruje, że powodem niektórych urazów, do których dochodzi podczas DCS nie jest mechaniczne uszkodzenie naczyń krwionośnych przez pęcherzyki powstałe przy dekompresji, ale występowanie mikrocząsteczek wywołane przez tworzenie się pęcherzyków oraz reakcje zapalne zarówno na pęcherzyki, jak i mikrocząsteczki[13,14]. Proponowany mechanizm tworzenia mikrocząsteczek i reakcji zapalnej podczas dekompresji oraz ich wpływu na ryzyko DCS jest nieco zawiły i może być tematem osobnego artykułu, ale doskonałe podsumowanie można znaleźć w artykule *Decompression Illness: A Comprehensive Overview* z 2024 roku, którego autorem jest ekspert w tej dziedzinie Dr Simon Mitchell.

Mikrocząsteczki i cytokiny zapalne, na których skupia się ta teoria, można zmierzyć, ale tylko w

laboratorium i nie w czasie rzeczywistym. Zanim osiągniemy znaczący postęp, należy wykonać więcej badań w tej dziedzinie, aby określić relację między stresem oksydacyjnym, dekompresją i mikrocząsteczkami krążącymi w organizmie. Ze względu na interakcję między tymi trzema czynnikami i danymi, które już istnieją, będziemy zwracać szczególną uwagę na ten temat w nadchodzących latach.

**Badania nad pęcherzykami**

Dekady sugestywnych (ale nie rozstrzygających) badań udowodniły związek między pęcherzykami i DCS, ale niedawno przeprowadzone badanie z NEDU z Universystetu w Auckland być może dokończyło dzieła, łącząc ilość pęcherzyków w naczyniach krwionośnych z symptomami DCS. W badaniu wzięło udział 151 nurków, którzy wykonali 693 nurkowania. Po każdym z nich badacze mierzyli ilość pęcherzyków, co pozwoliło im stworzyć wyjątkowo dużą bazę danych. Jej analiza wykazała, że ilość pęcherzyków u poszczególnych nurków bardzo się różniła. Nie tylko zdecydowanie świadczy to o tym, że ilość pęcherzyków nie może być używana do oceny praktyk dekompresyjnych u różnych nurków, ale również jest to dowód na to, że u *poszczególnych nurków* podczas *tego samego nurkowania* pęcherzyki będą się tworzyć w tak różnym tempie, iż być może nie istnieje żadna znacząca korelacja między poziomem pęcherzyków w naczyniach krwionośnych a DCS.

Powoduje to nieco zamieszania w status quo badań nurkowych, ale to nie jest koniec badań na pęcherzykami. Naukowcy z DAN ukończyli ostatnio tworzenie bazy danych z 4-letniego projektu, którego celem było zmierzenie ilości pęcherzyków w naczyniach krwionośnych oraz sprawdzenie takich parametrów jak zmienność rytmu serca, rzut serca, ciśnienie krwi, próbki śliny pod kątem markerów zapalnych oraz próbki krwi pod kątem mikrocząsteczek. Przetwarzanie danych właśnie się rozpoczęło, a krótkoterminowa analiza będzie skupiała się na korelacji czynników ryzyka wystąpienia DCS i ilości pęcherzyków. Aby ułatwić badania obserwacyjne, naukowcy nadal mają kontakt z grupą nurków, którzy

brali udział w badaniu.

## Spojrzenie w przyszłość

Chociaż duża liczba tych badań opiera się na wciąż niepotwierdzonych mechanizmach występowania DCS, jeszcze nierozwiniętej technologii i biomarkerach, mamy wiele powodów do optymizmu. Musimy ograniczyć ten optymizm ze względu na to, że mogą minąć lata, zanim w ogóle powstanie technologia do rzetelnego mierzenia niektórych z wymienionych teoretycznych markerów, ale sama liczba możliwości w tej dziedzinie jest ekscytująca.

Spersonalizowana dekompresja nie jest jeszcze rzeczywistością, ale przeszkody, które musimy pokonać zostały zidentyfikowane, a wspaniali badacze i nurkowie poświęcają całe swoje życie, aby było to możliwe. Chcesz im pomóc? Możesz dowiedzieć się więcej na temat bieżących projektów badawczych i zgłosić się do pomocy jako ochotnik na stronie https://www.daneurope.org/pl/medyczne-badania-nurkowe

Rozszerzona wersja tego artykułu została opublikowana w magazynie *InDEPTH.*

---

**Cytowane źródła**


1. Doolette, D; Murphy, G (2023) *Within-diver variability in venous gas emboli (VGE) following repeated dives.*
2. Mitchell, Simon J (2024) *Decompression Illness: A comprehensive review*. PMID: 38537300


**Dodatkowe materiały**

- Cialoni, D; Pieri, M; Balestra, C; Marroni, A (2017) *Dive Risk Factors, Gas Bubble Formation, and Decompression Illness in Recreational SCUBA Diving: Analysis of DAN Europe DSL Data Base*

---

**O autorze**

Reilly Fogarty mieszka w Nowej Anglii i jest instruktorem rebreatherowym oraz ma licencję kapitana USCG (United States Coast Guard). Jego profesjonalne przygotowanie obejmuje chirurgiczną pomoc doraźną, leczenie w sytuacjach awaryjnych na obszarach oddalonych, badania hiperbaryczne, ograniczanie ryzyka w nurkowaniu na dużą skalę oraz tworzenie i zarządzanie programami pierwszej pomocy. Wcześniej pracował przy testach na ludziach w ramach badania fizjologii osób wystawionych na działanie ekstremalnych warunków w Duke Centre for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology (Centrum Medycyny Hiperbarycznej i Fizjologii Środowiska w Duke) oraz był kierownikiem Zespołu Ograniczania Ryzyka w Divers Alert Network.

---

**Tłumacz:** Agnieszka Kostera-Kosterzewska