

# Przemyślenia na temat profili wynurzenia z nurkowań dekompresyjnych

Richard L. Pyle

*Wersja polska Izabela Kapuściarek  
Hogarthian Divers, sierpień 2005*

Zanim zacznę, chciałbym, żeby jedno było jasne: kolekcjonuję ryby (tj. jestem ichtiologiem). W kontekście tego tekstu oznacza to dwie rzeczy: po pierwsze, spędzam masę czasu pod wodą; po drugie, choć jestem biologiem i mam jakieś pojęcie o fizjologii zwierząt, nie jestem znawcą fizjologii dekompresji. Postarajcie się o tym pamiętać, czytając to, co napisałem.

Zanim jeszcze wprowadzono pojęcie "nurkowanie techniczne", robiłem więcej nurkowań na głębokości 55-66 metrów, niż by się dało spamiętać. Dzięki ogromnej liczbie nurkowań, po jakimś czasie zacząłem zauważać pewne zależności. Dość często po takim nurkowaniu czułem się źle i byłem zmęczony. Objawy te w oczywisty sposób wiązały się z przesyleniem gazem obojętnym, nie zaś z fizycznym wysiłkiem w czasie nurkowania – symptomy były generalnie znacznie poważniejsze po mniej niż godzinnym nurkowaniu na 60 metrów niż po 4-6 godzinach spędzonych na płytszej wodzie.

Co ciekawe, objawy nie pojawiały się zawsze. Czasem nie czułem ich w ogóle, kiedy indziej znów byłem po nurkowaniu tak senny, że z trudem powstrzymywałem się przed zaśnięciem za kierownicą w drodze do domu. Usiłowałem znaleźć zależność pomiędzy dokuczliwością symptomów a różnymi czynnikami, takimi jak głębokość nurkowania, dodatkowy czas spędzony na przystanku dekompresyjnym na trzech metrach, siłą prądu, przejrzystością wody, ilością snu poprzedniej nocy, poziomem odwodnienia... co tam wam jeszcze przyjdzie do głowy... ale żaden z tych oczywistych czynników nijak się miał do moich dolegliwości. W końcu znalazłem – ryby! Właśnie tak... po nurkowaniach, na których udało mi się złapać jakąś rybę nie miałem praktycznie żadnych objawów. Po nurkowaniach, na których nie złapałem nic, objawy były dość uciążliwe. Siła tej zależności była zdumiewająca.

Problem tylko w tym, że nie miało to najmniejszego sensu. Dlaczego moje dolegliwości miałyby mieć cokolwiek wspólnego z łapaniem ryb? W gruncie rzeczy można by się spodziewać gorszego samopoczucia po nurkowaniach z rybami, w końcu poziom wysiłku na dnie był wtedy wyższy (nie tak łatwo jest złapać rybę). Była jednak jeszcze jedna różnica. Jak pewnie wiecie, większość ryb ma wypełniony gazem organ, zwany „pęcherzem pławnym” – taki rybi przyrząd do regulacji pływalności. Jeśli rybę wyciągnąć z głębokości 60 metrów bezpośrednio na powierzchnię, pęcherz rozszerzy się, zwiększając mniej więcej siedmiokrotnie swoją pojemność i zmiążdży inne narządy. Ponieważ zależało mi na zachowaniu moich ryb przy życiu, musiałem zatrzymywać się w czasie wynurzenia i nakłuwać pęcherz pławny igłą do zastrzyków, żeby usunąć nadmiar gazu. Zwykle było to konieczne znacznie poniżej mojego pierwszego wymaganego przystanku dekompresyjnego. Na przykład w czasie przeciętnego nurkowania na 60 metrów, mój pierwszy przystanek dekompresyjny był na głębokości ok. 15 metrów, ale ze względu na ryby zatrzymywałem się na głębokości 39 metrów. W efekcie profil każdego nurkowania, na którym złapałem ryby, zawierał dwu- lub trzyminutowy przystanek znajdujący się znacznie głębiej, niż pierwszy

"wymagany" przystanek dekompresyjny. To jednak też niestety kompletnie nie miało sensu. Jeśli rozważyć to jedynie w kategoriach gazu rozpuszczonego we krwi i w tkankach (a takie podejście przyjmują prawie wszystkie wykorzystywane współcześnie algorytmy dekompresyjne), dodanie głębokiego przystanku powinno pogłębić problemy, ponieważ prowadzi do przedłużenia czasu spędzonego na większej głębokości.

Jako osoba, która z zasady bardziej skłonna jest wierzyć w to, co się wydarza, aniżeli w to, co się zgodnie z teorią wydarzać powinno, postanowiłem zacząć dodawać głębokie przystanki do wszystkich moich nurkowań dekompresyjnych, niezależnie od tego, czy łapałem jakieś ryby, czy też nie. I wiecie co? Moje zmęczenie całkowicie znikło! To było po prostu zdumiewające! Nagle okazało się, że mogę popracować trochę po południu lub wieczorem tego samego dnia, którego rankiem robiłem głębokie nurkowanie. Zacząłem opowiadać ludziom o moim niezwykłym odkryciu, ale zawsze spotykałem się ze sceptycyzmem, czasem musiałem wręcz wysłuchiwać kostycznych kazań "ekspertów", tłumaczących mi, jak muszę się mylić. "To chyba oczywiste – mówili – że powinieneś wynurzyć się z głębokiej wody tak szybko, jak to możliwe, żeby zminimalizować dodatkowe nasycenie gazem". Jako osoba, która niespecjalnie lubi się kłócić, po prostu przestałem mówić o moich "głębokich przystankach dekompresyjnych". Z upływem lat byłem jednak coraz bardziej przekonany, że głębokie przystanki zmniejszają prawdopodobieństwo choroby dekompresyjnej (DCS). We wszystkich przypadkach, kiedy zdarzyło mi się mieć jakiegokolwiek dolegliwości po nurkowaniu, od zmęczenia, poprzez ból barku, po jeden przypadek porażenia kończyn, były to nurkowania, na których pomiąłem głęboki przystanek dekompresyjny.

Będąc z zawodu naukowcem, czuję że muszę rozumieć mechanizmy rządzące obserwowalnymi zjawiskami. W efekcie mocno mnie trapił pozorny paradoks tkwiący w moich profilach dekompresyjnych. Aż usłyszałem kiedyś prezentację dr Davida Younta na mityngu Amerykańskiej Akademii Nauk Podwodnych (AAUS) w 1989 roku. Tym, którzy o nim nie słyszeli, wyjaśniam – dr Yount jest profesorem fizyki na Uniwersytecie Hawajskim, jednym z twórców dekompresyjnego Modelu Zmiennej Przepuszczalności (*Varying-Permeability Model* – VPM). Model ten uwzględnia obecność mikropęcherzyków (gazowych przestrzeni we krwi i w tkankach) oraz czynniki, które decydują o wzroście i zaniku tych pęcherzyków w czasie dekompresji. W rezultacie model VPM wymaga początkowych przystanków dekompresyjnych na głębokościach znacznie większych, niż rekomendowane przez modele neo-haldanowskie (czyli oparte na "przedziałach tkankowych"). W końcu zacząłem dostrzegać w tym wszystkim jakiś sens. (Dobry przegląd modelu VPM można znaleźć w szóstym rozdziale "Hyperbaric Medicine and Physiology" Younta, wydanej przez Best Publishing w 1988 roku.)

Skoro już wiecie, że nie jestem ekspertem od fizjologii nurkowania, pozwólcie mi wyjaśnić, o co w tym chodzi w sposób, który każdy wyedukowany nurek powinien zrozumieć. Po pierwsze większość czytelników powinna zdawać sobie sprawę z faktu, że pęcherzyki we krwi wykrywane są po większości nurkowań – również po tych "bezdekompresyjnych". Pęcherzyki są obecne – po prostu nie zawsze prowadzą do pojawienia się symptomów DCS. Większość głębokich nurkowań dekompresyjnych wykonywanych przez nurków "technicznych" (w przeciwieństwie do nurków zawodowych i wojskowych) nie jest nurkowaniami saturowanymi. Innymi słowy charakteryzują się one stosunkowo krótkim czasem dennym (w tym kontekście dwugodzinne nurkowanie na 90 metrów należałoby uznać za nurkowanie "krótkie"). W zależności od głębokości, czasu nurkowania i wykorzystanych mieszanek, w przypadku takich nurkowań każdy model gazu rozpuszczonego wygeneruje profil z relatywnie długim (w sensie głębokości, nie czasu) wynurzeniem od dna do pierwszego przystanku dekompresyjnego. Im krótszy czas denny, tym większy będzie ten

dystans. Potoczne myślenie każe "zmykać z głębokiej wody" tak szybko, jak tylko się da, żeby zminimalizować dodatkowe nasycenie gazem. Wielu uważa wręcz, że podczas głębszej fazy wynurzenia należy wynurzać się z większą prędkością. Większość nurków notorycznie wynurza się dramatycznie zmniejszając ciśnienie otoczenia w stosunkowo krótkim czasie – po prostu "zmykają z głębokiej wody".

I w tym, moim zdaniem, tkwi problem. Może wynika to z czasu, który jest konieczny by krew opłynęła cały układ krążenia nurka. Może chodzi o maciupęńkie pęcherzyki powstające podczas przepływu krwi przez serce i rozszerzające się w wyniku dyfuzji gazu z otaczającej je krwi. Jakakolwiek jest podstawa fizjologiczna, jestem przekonany, że pęcherzyki powstają i zaczynają rosnać właśnie w tej początkowej, ciągłej fazie wynurzenia z głębokości. W ciągu ostatniego roku dowiedziałem się o fizyce pęcherzyków więcej, niż by mi się chciało tu pisać – pozostawię to komuś, kto naprawdę się na tym zna. Póki co niech nam wystarczy informacja, że to, czy pęcherzyk zacznie rosnać, czy zanikać, zależy od wielu złożonych czynników, między innymi od jego wielkości w danym momencie. Mniejsze pęcherzyki mają tendencję do zanikania w czasie dekompresji, a większe skłonne są rosnać, prowadząc być może do DCS. By więc zmniejszyć ryzyko DCS należy dbać o to, by pęcherzyki były jak najmniejsze. Szybkie wynurzenie z głębokiej wody do pierwszego wymaganego przystanku dekompresyjnego bynajmniej w tym nie pomaga! Niewykluczone, że spowolnienie początkowego wynurzenia do pierwszego przystanku (na przykład poprzez dodanie jednego lub kilku głębokich przystanków dekompresyjnych) pozwala na utrzymanie rozmiaru pęcherzyków na poziomie wystarczająco niskim, by kurczyły się podczas pozostałych przystanków dekompresyjnych.

Jeśli tak jest rzeczywiście, to podejrzewam że ogromna wielość przypadków choroby dekompresyjnej wiąże się bardziej z profilem wynurzenia od dna do pierwszego przystanku, aniżeli z resztą profilu dekompresyjnego. DCS jest niezwykle złożonym zjawiskiem – tak złożonym, że nawet najlepsi fizjologowie nurkowi nie byłiby w stanie jej wyjaśnić. Niestety polega na tym, że najprawdopodobniej nigdy nie zrozumiemy jej do końca, głównie przez to, że nasze organizmy stanowią niewiarygodnie chaotyczne środowisko i ten poziom chaosu utrudnia jakiegokolwiek próby przewidywania i unikania choroby dekompresyjnej. Niemniej jednak wierzę że my, nurkowie dekompresyjni nie wykonujący nurkowań saturowanych, możemy zmniejszyć ryzyko DCS, o ile zmienimy sposób, w jaki przeprowadzamy początkową fazę naszego wynurzenia.

Niektórzy z was mogą teraz myśleć "Ale przecież on nie jest żadnym ekspertem od fizjologii nurkowania – dlaczego miałbym mu wierzyć?" Jeśli tak myślisz, to dobrze – dokładnie to chciałbym, żebyś myślał, bo nie powinieneś ufać tylko mnie. Dlaczego by więc nie zajrzeć do wrześniowego ('95) numeru DeepTech (Nr 3) i nie przeczytać artykułu Bruce'a Weinke? Zawiera on trochę wyrafinowanych zawłości, więc czytaj go po prostu na okrągło, tak długo, aż zrozumiesz. Zadzwoń też może do aquaCorps i zamów kasetę numer 9 ("Pęcherzykowe strategie dekompresyjne") z konferencji tek.95 i posłuchaj, jak Eric Maiken wyjaśnia parę rzeczy na temat fizyki gazu, o których najprawdopodobniej nie miałeś wcześniej pojęcia. A skoro już przy tym jesteś, to zamów sobie jeszcze kasetę z sesji "Zrozumieć tabele trimiksowe" z konferencji tek.96. Będziesz mógł posłuchać wykładu Andre Galerne'a (wg niektórych "ojca trimiksu") na temat dramatycznego spadku liczby przypadków DCS po wprowadzeniu dodatkowych głębokich przystanków dekompresyjnych, poza wymaganymi przez tabele. Na tej samej kasecie Jean-Pierre Imbert z COMEX-u (francuska firma prowadząca jedne z najgłębszych nurkowań na świecie) opowiada o całkowicie nowym podejściu do profili dekompresyjnych, uwzględniającym początkowe przystanki na głębokościach znacznie większych, niż wymagane przez większość tabel. Zapytaj George'a

Irvine'a co miał na myśli pisząc w styczniowym ('96) numerze DeepTech (Nr 4), że dodaje do swojego planu "trzy lub cztery krótkie głębokie przystanki przed wynurzeniem się do pierwszego przystanku rekomendowanego przez każdy z programów [dekompresyjnych]". Jeśli i to ci nie wystarczy, zajrzyj do magazynu Alert Diver ze stycznia / lutego 1996; w artykule wstępnym dr Peter Bennett rozważa tę samą kwestię, tyle że w kontekście nurkowań rekreacyjnych. Jeśli trzeba ci artykułu, który otworzy ci oczy, postaraj się znaleźć raport LeMessuriera i Hillsa na temat zwyczajów rybaków z Torres Strait (wymieniony w bibliografii do tego artykułu). Listę tę można ciągnąć. Rzecz w tym, że nie jestem osamotniony w moim przekonaniu co do zasadności wprowadzenia głębokich przystanków dekompresyjnych.

Wciąż sceptyczny? Pozwolę sobie zapytać: czy wierzysz, że tak zwane "przystanki bezpieczeństwa" przeprowadzane po tak zwanych "nurkowaniach bezdekompresyjnych" zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia DCS? Jeśli nie, to powinieneś zapoznać się ze statystykami opracowywanymi przez Diver's Alert Network. Jeśli tak, to znaczy że już robisz "głębokie przystanki" podczas swoich "nurkowań bezdekompresyjnych". Jeśli to ma ci poprawić samopoczucie, możesz sobie nazywać dodatkowe głębokie przystanki dekompresyjne "głębokimi przystankami bezpieczeństwa", które wykonuje się przed wynurzeniem do pierwszego "wymaganego" przystanku dekompresyjnego. Pomyśl o tym tak: twój pierwszy "wymagany" przystanek dekompresyjny jest funkcjonalnym odpowiednikiem powierzchni z nurkowania przeprowadzonego do bezwzględnej granicy "bezdekompresyjnego" czasu dennego. Czy nie uznałbyś, że "przystanek bezpieczeństwa" po nurkowaniu "bezdekompresyjnym" jest niezwykle ważnym elementem w przypadku osiągnięcia granicy "bezdekompresyjnej"?

Niektórzy z was mogą myśleć "ja już robię przystanki bezpieczeństwa na moich nurkowaniach dekompresyjnych – zawsze zatrzymuję się 3 lub 6 metrów poniżej pierwszego wymaganego przystanku". Choć to krok we właściwym kierunku, nie do końca to mam tu na myśli. "Czemu nie?", zapytasz. "W czasie nurkowań bezdekompresyjnych przeprowadzam mój przystanek bezpieczeństwa na głębokości 6 metrów. Dlaczego nie miałbym robić mojego głębokiego przystanku bezpieczeństwa 6 metrów poniżej pierwszej wymaganej głębokości?" Już ci mówię, dlaczego – bo przystanki bezpieczeństwa zapobiegać mają wzrostowi pęcherzyków, a wzrost pęcherzyków jest częściowo funkcją zmiany ciśnienia otoczenia. Załóżmy, że po nurkowaniu na 23 metry robisz przystanek bezpieczeństwa na głębokości 6 metrów. Ciśnienie otoczenia na poziomie morza wynosi 1 ATA. Ciśnienie otoczenia na głębokości 23 metrów to około 3.3 ATA, a na głębokości przystanku bezpieczeństwa, tj. 6 metrów – 1.6 ATA, co z grubsza odpowiada połowie dystansu pomiędzy 3.3 a 1 ATA. A teraz przyjmijmy, że nurkujemy na głębokość 60 metrów (około 7 ATA), a twój pierwszy wymagany przystanek dekompresyjny znajduje się na głębokości 15 metrów (około 2.5 ATA). Połowa dystansu (ciśnienia) pomiędzy tymi punktami to 4.75 ATA, czyli nieco mniej niż 39 metrów. W czasie takiego nurkowania powinieneś więc zrobić głęboki przystanek bezpieczeństwa na głębokości 39 metrów – dokładnie na takiej zwykłem się zatrzymywać, by wbijać igłę od strzykawki w moje rybki.

Oczywiście fizyka i fizjologia są znacznie bardziej skomplikowane. Może być i tak, że połowa ciśnienia otoczenia wcale nie stanowi najlepszej głębokości dla przeprowadzenia przystanku bezpieczeństwa – właściwie to mogę was niemal zapewnić, że jest inaczej. O ile dobrze rozumiem pęcherzykowe modele dekompresyjne, głębokość początkowych przystanków dekompresyjnych powinna być funkcją absolutnej zmiany ciśnienia otoczenia, a nie proporcjonalnej zmiany ciśnienia otoczenia, w efekcie przystanki dla większości nurkowań dekompresyjnych powinny być przeprowadzone jeszcze głębiej, niż w połowie

ciśnienia otoczenia. Mam jednak niestety poważne wątpliwości, czy komputery nurkowe zaczną wykorzystywać algorytmy dekompresyjne oparte na modelach pęcherzykowych, przynajmniej w ich pełnej formie. Nim to nastąpi, jako nurkowie dekompresyjni potrzebujemy prostej reguły, której przestrzeganie nie wymaga dużej mocy przeliczeniowej, ani komputera. Być może najlepszą metodą byłoby spowolnienie pierwszej, głębokiej fazy wynurzenia. Niestety jest to dość trudne, zwłaszcza w toni. Zamiast tego można moim zdaniem zastosować jeden lub kilka dyskretnych, krótkich przystanków przerywających te długie wynurzenia. Czy jest to fizjologicznie poprawne, czy nie, możesz o nich myśleć jako o postojach, pozwalających organizmowi "nadgonić" zmieniające się ciśnienie otoczenia.

A oto moja metoda wyznaczania głębokich przystanków bezpieczeństwa:

- 1) Wyliczyć profil dekompresyjny planowanego nurkowania, wykorzystując program, którego używamy standardowo.
- 2) Wziąć odległość pomiędzy głębokością nurkowania (w momencie rozpoczęcia wynurzenia) a pierwszym "wymaganym" przystankiem dekompresyjnym i znaleźć środek pomiędzy nimi. Można znaleźć środek ciśnienia otoczenia, ale w przypadku większości nurkowań "technicznych" połowa odległości jest wystarczająco dokładnym przybliżeniem, a przy tym łatwiej ją wyliczyć. W ten sposób wyznaczamy pierwszy głęboki przystanek dekompresyjny. Powinien on trwać około 2-3 minut.
- 3) Przeliczyć powtórnie profil dekompresyjny po uwzględnieniu głębokiego przystanku w profilu (większość programów pozwala na generowanie profili wielopoziomowych).
- 4) Jeśli odległość pomiędzy pierwszym głębokim przystankiem bezpieczeństwa a pierwszym "wymaganym" przystankiem jest większa niż 9 metrów, dodać drugi głęboki przystanek bezpieczeństwa w połowie odległości pomiędzy pierwszym głębokim a pierwszym wymaganym przystankiem.
- 5) Powtarzać procedurę tak długo, aż odległość pomiędzy ostatnim głębokim przystankiem bezpieczeństwa a pierwszym "wymaganym" przystankiem będzie mniejsza niż 9 metrów.

Wyobraź sobie na przykład, że planujesz nurkowanie trimiksowe na głębokość 90 metrów, a twój program oznajmia, że twój pierwszy "wymagany" przystanek znajduje się na głębokości 30 metrów. Powinieneś przeliczyć profil dodając krótkie (dwuminutowe) przystanki na głębokości 60, 45 i 39 metrów. Oczywiście, ponieważ twój program zakłada, że na tych głębokościach wciąż nasycasz się gazem, reszta wyliczonej dekompresji będzie nieco dłuższa niż byłaby, gdybyś tych przystanków nie robił. Zgodnie jednak z moim doświadczeniem, a także z doświadczeniem wielu innych, spadek ryzyka DCI jest wart ceny, jaką jest przedłużenie czasu dekompresji. Zaryzykowałbym nawet twierdzenie, że zalety głębokich przystanków są tak duże, że zasadniczo można by zredukować całkowity czas dekompresji (poprzez skrócenie płytkich przystanków) i wciąż cieszyć się niższym prawdopodobieństwem choroby dekompresyjnej – ale dopóki ktoś nie wesprze tej tezy dowodami, zdecydowanie powinieneście dla własnego bezpieczeństwa pogodzić się z dłuższym czasem dekompresji. I ostatnia sprawa. Jak wiedzą wszyscy, którzy czytają moje posty na nurkowych listach dyskusyjnych, jestem zagorzałym zwolennikiem osobistej odpowiedzialności w nurkowaniu. Jeśli zdecydujesz się zastosować do moich wskazówek i wprowadzić głębokie przystanki dekompresyjne do swoich nurkowań dekompresyjnych, bardzo mnie to cieszy. Jeśli postanowisz nadal przestrzegać profili generowanych przez twój program komputerowy, też mi to nie przeszkadza. Cokolwiek jednak zrobisz, jesteś całkowicie i wyłącznie odpowiedzialny za to, co ci się przytrafi pod wodą. Jesteś w końcu ssakiem lądowym i nikt ci nie każe pchać się pod wodę! Jeśli nie jesteś w stanie sprostać tej odpowiedzialności, trzymaj

się od wody z daleka. Jeśli dostaniesz DCS po nurkowaniu, w czasie którego przeprowadzisz głębokie przystanki bezpieczeństwa, wyliczone zgodnie z moją metodą, będzie to wyłącznie twoja wina, skoro byłeś wystarczająco głupi, żeby stosować się do dekompresyjnych wskazówek kolekcjonera ryb!

#### **Bibliografia:**

**Bennett, P.B.** 1996. Rate of ascent revisited. Alert Diver, January/February 1996: 2.

**Hamilton, B. and G. Irvine.** 1996. A hard look at decompression software. DeepTech, No. 4 (January 1996)

**LeMessurier, D.H. and B.A. Hills.** 1965. Decompression sickness: A thermodynamic approach arising from a study of Torres Strait diving techniques. Scientific Results of Marine Biological Research. Nr. 48: Essays in Marine Physiology, OSLO Universitetsforlaget: 54-84.

**Weinke, B.** 1995. The reduced gradient bubble model and phase mechanics. DeepTech, No. 3 (September 1995): 29-37.

**Yount, D.E.** 1988. Chapter 6. Theoretical considerations of Safe Decompression. In: Hyperbaric Medicine and Physiology (Y-C Lin and A.K.C. Niu, eds.), Best Publishing Co., San Pedro, pp. 69-97.

*Chciałbym podziękować Ericowi Maikenowi za wyjaśnienie mi fizyki pęcherzyków i za dodanie pewnych teoretycznych podstaw moim niedoważonym pomysłom.*

#### **O tłumacze:**

*Izabela Kapuściarek jest psychologiem ewolucyjnym i społecznym, zajmującym się badaniami rynku w globalnym marketingu firmy Shell, a dla przyjemności nurkowaniem. Posiada stopień IANTD Advanced Nitrox i PADI Divemaster, obecnie przygotowuje się do nurkowań technicznych i jaskiniowych. Członek grupy Hogarthian Divers.*