

# Przesuwanie granic: nowe badania dotyczące fizjologii nurkowań głębokich na rebreatherach

*Nurkowie wykonujący głębokie nurkowania na rebreatherze nie tylko odkrywają nowe, rzadko odwiedzane miejsca, ale wchodzą na niezbadane wody, jeśli chodzi o fizjologiczny wpływ takich nurkowań. Dwa niedawno przeprowadzone badania przez lekarzy hiperbarycznych (jednym z nich jest Costantino Balestra pracujący w DAN Europe) dodają trochę informacji do małej, ale rozwijającej się bazy danych.*

W odróżnieniu od osób nurkujących na obiegu otwartym, które są ograniczone do mieszanki gazów w swojej butli, nurkowie na rebreatherze o obiegu zamkniętym (CCR) mogą zmieniać skład gazów podczas nurkowania. Wykorzystują tę możliwość, aby utrzymać optymalne ciśnienie parcjalne tlenu ( $PO_2$ ) i zmniejszyć nasycenie azotem. Dzięki temu ich czas dekompresji jest krótszy w porównaniu do nurkowań na obiegu otwartym.

Dodatkowo używanie CCR w ogromnym stopniu zmniejsza ilość gazu używanego przez nurka. Jest to bardzo ważne, jeśli weźmiemy pod uwagę trudność w uzyskaniu i koszt helu w wielu regionach na świecie. Wszystkie te czynniki przyczyniły się do tego, że przejście z obiegu otwartego na CCR stało się ważnym trendem w nurkowaniu technicznym w ostatnich dwóch dekadach. Na rynek weszli nowi producenci rebreatherów i elektronicznych urządzeń kontrolujących, technologia CCR ciągle się rozwija i jest coraz bardziej niezawodna, a nurkowania głębokie na CCR stają się coraz bardziej popularne.

W tym wszystkim tkwi jednak haczyk. Nasza wiedza na temat dekompresji i innych fizjologicznych aspektów przebywania pod wodą opiera się na danych z ogromnej liczby nurkowań, z czego większość była stosunkowo płytka. Do głębokości 50 metrów mamy w miarę dokładne pojęcie o tym, jakie procedury powinna zastosować przeciętna osoba. Kiedy zwiększamy głębokość, dane stają się coraz mniej dostępne. Chociaż przeprowadzono wiele badań dotyczących nurkowań zawodowych i saturowanych na bardzo duże głębokości, warunki wykonywania tych nurkowań ogromnie się różnią od nurkowań technicznych (podczas których nurkowie dość szybko wracają na powierzchnię). Z tego powodu dane z tych badań mogą być wykorzystane tylko w ograniczonym zakresie.

Decyzje dotyczące procedur dekompresyjnych podejmowane przez nurków technicznych i nurków CCR wykonujących głębokie nurkowania opierają się do pewnego stopnia na domysłach, ponieważ używane przez nich algorytmy dekompresyjne zostały zweryfikowane tylko na mniejszych głębokościach.



## Odwodnienie, ograniczenie czynności płuc, nieprzewidziane pęcherzyki

Aby zmienić tę niefortunną sytuację, w 2021 roku opublikowano wyniki dwóch badań, które mogą podnieść poziom naszej wiedzy. [Pierwsze badanie](#) zostało przeprowadzone podczas ekspedycji w Tahiti, której głównym celem było zebranie próbek niedawno odkrytej mezofotycznej rafy koralowej na głębokości między 90 a 120 metrów. Nurkowie byli fizycznie sprawnymi mężczyznami, większość z nich w wieku między 30 a 40 lat z dużym doświadczeniem, który wykonali 16 nurkowań. Badacze zmierzili wiele parametrów fizjologicznych, w tym pojemność płuc (przy pomocy spirometrii), masę ciała (jako wskaźnik nawodnienia), liczbę hematokrytową, krótkotrwałą zmienność rytmu zatokowego (HRV) i krytyczną częstotliwość migotania (CFF) jako potencjalną oznakę upośledzenia funkcji poznawczych.

Badacze odkryli dość sporą utratę masy ciała u nurków z powodu odwodnienia – przeciętnie 3,5 kg, czyli z 73,5 kg do 70 kg – oraz znaczne ograniczenie czynności płuc tuż po nurkowaniu, które przeszło po pewnym czasie. Krytyczna częstość migotania (CFF) wciąż jest [oceniana jako wskaźnik funkcji poznawczych](#), ale fakt, że nie zaobserwowano żadnej zmiany jest zgodny z naszą wiedzą o tym, że używanie helu zmniejsza narkozę oraz że oddychanie tlenem w komorze hiperbarycznej ma efekt pobudzający.

W [drugim badaniu](#) naukowcy towarzyszyli nurkom podczas ekspedycji wrakowej w Morzu Czerwonym, podczas której wykonano nurkowania na głębokość 64, 97 i 123 metry. Chociaż grupa nurków składała się ponownie z samych mężczyzn, tym razem była bardziej zróżnicowana pod względem wieku, budowy ciała i poziomu kondycji fizycznej. W badaniu położono nacisk na wpływ dekompresji na organizm mierząc ilość pęcherzyków w naczyniach krwionośnych (VGE) w sercu i pod obojczykiem przy pomocy ultrasonografii Dopplera. Badanie przeprowadzono 30 i 60 minut po wynurzeniu na powierzchnię.

Costantino 'Tino' Balestra jest profesorem fizjologii w Haute École de Bruxelles-Brabant oraz wiceprezesem

Działu Badań i Edukacji w DAN Europe. Był członkiem obu zespołów badawczych i zgodził się podzielić się z *Alert Diver* swoimi spostrzeżeniami.

„Zaczynamy zdawać sobie sprawę z tego, że bardzo trudno jest przewidzieć, ile pęcherzyków będzie miał nurek po wykonaniu nurkowania biorąc pod uwagę jego nasycenie i wysycenie, nawet jeżeli uwzględnimy takie czynniki, jak wiek, kondycja fizyczna i BMI” – wyjaśnia Balestra. „U niektórych ludzi widzimy pęcherzyki tam, gdzie nie powinno ich być, a u innych nie ma ich tak dużo, mimo że wykonali dość agresywne nurkowanie. Wydaje się, że ogromną rolę odgrywają tutaj czynniki osobiste”.

Jeśli chodzi o badanie na Tahiti, Balestra powiedział: „Naszym głównym odkryciem było czasowe ograniczenie czynności płuc i odwodnienie po bardzo długich nurkowaniach. Możemy założyć, że nurkowania te są dość wyczerpujące dla organizmu nurka”.



## **Badania na ludziach i etyka**

Przeprowadzanie badań dotyczących nurkowań głębokich na CCR wiąże się z kilkoma wyzwaniami. „Nurkowania głębokie na CCR nie są zbyt powszechne i często wykonuje się je daleko od uniwersytetu czy laboratorium. Okazje do przeprowadzenia badań są rzadkie i wkraczamy tutaj na nowe terytorium” – mówi Balestra. „Istnieją również inne ograniczenia. Jako badacz mogę obserwować i dokonywać pomiarów, ale nie mogę mówić ludziom, jak mają nurkować. Byłoby to bardzo nieetyczne. Nurkowania głębokie na CCR są ryzykowne i nurkowie wystawiają swój organizm na duże przeciążenia. Dlatego musi to być w stu procentach ich decyzja”.

## **Perspektywa i rada**

Istnieje wyraźny trend do coraz częstszego używania rebreatherów do nurkowań głębokich i Balestra sądzi,

że tendencja ta na razie się utrzyma. „Jest tyle ekscytujących rzeczy do zobaczenia, a ludzie są zafascynowani technologią” – mówi. Kiedy zapytaliśmy go jednak, jaką radę dałby komuś, kto chce zacząć tego typu nurkowania, zalecił ostrożność. „Po pierwsze musisz zadać sobie pytanie, ile nurkowań będziesz wykonywać w ciągu roku. Rebreathery CCR są o wiele bardziej skomplikowane niż sprzęt do nurkowania na obiegu otwartym i musisz wiele ćwiczyć tylko po to, aby utrzymywać swoje umiejętności na wysokim poziomie. Dodatkowo rebreathery są bardzo drogimi maszynami. Jeżeli wykonujesz mniej niż pięćdziesiąt nurkowań rocznie, wątpię, aby było to warte ze względu na ryzyko i koszty”.

## Co można powiedzieć tym, którzy zdecydowali się na ten krok?

„Z punktu widzenia medycyny hiperbarycznej powiem tak: nigdy nie miej stuprocentowej pewności, że twój plan dekompresji uchroni cię przed DSC. W grę wchodzi o wiele więcej czynników. To, co robisz każdego dnia, a nawet tuż przed nurkowaniem może być tak samo ważne jak wybór gradient factor. Przeprowadzamy ciekawe badania, które dotyczą tego problemu i nie odnoszą się one tylko do ludzi nurkujących na głębokość 120 metrów. Ruszaj się. Ćwicz. W DAN Europe widzimy wzrost liczby przypadków DCS, który naszym zdaniem jest związany z tym, że ludzie mają bardziej siedzący tryb życia podczas pandemii”.

---

## Odniesienia

Dugrenot, E., Balestra, C., Gouin, E. *et al.* [Physiological effects of mixed-gas deep sea dives using a closed-circuit rebreather: a field pilot study](#). *Eur J Appl Physiol* **121**, 3323–3331 (2021).

Balestra, C., Guerrero, F., Theunissen, S. *et al.* [Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study](#). *Eur J Appl Physiol* **122**, 515–522 (2022).

---

## O autorze

Tim Blömeke uczy nurkowania rekreacyjnego i technicznego na Tajwanie i Filipinach. Jest zapalonym nurkiem jaskiniowym, wrakowym i CCR oraz redaktorem i tłumaczem dla Alert Diver. Mieszka w Taipei na Tajwanie. Możesz śledzić go na Instagramie: [@timblmk](#).

---

**Tłumacz:** [Agnieszka Kostera-Kosterzewska](#)