

# Pamiętaj o oddychaniu

## Pytanie

W czasie podstawowego szkolenia nurkowego instruktor mówi uczestnikom, aby „nigdy nie wstrzymywali oddechu” z obawy o ryzyko urazu na skutek rozszerzenia się sprężonego powietrza podczas wynurzenia. Co więcej, kursanci dowiadują się, że najbardziej niebezpieczną częścią wynurzenia się jest tuż przy powierzchni. Dlaczego? Jaki jest faktyczny mechanizm, w którym płuca ulegają uszkodzeniu przez rozprężające się powietrze? Czy rzeczywiście rwą się i pękają? Skoro płuca otoczone są wypełnionym płynem workiem (opłucną), gdzie pojawia się to rozszerzenie? Czy są jakieś puste przestrzenie między płucami, opłucną i resztą ciała? No i wreszcie, dlaczego właściwie ostatnie metry od powierzchni są bardziej niebezpieczną częścią wynurzenia się, niż ta sama odległość znacznie głębiej? Czy ciśnienie otoczenia nie zmienia się tak samo pomiędzy 20 a 10 metrami, jak między 10 metrami a powierzchnią?

## Odpowiedź

Urazy związane z rozcięciem płuc mogą być najbardziej dramatycznymi i zagrażającymi życiu wypadkami w nurkowaniu. Są zazwyczaj efektem nadmiernego rozciągnięcia płuc w wyniku patologicznego uwięzienia powietrza w płucach (choroba płuc) lub wstrzymania oddychania podczas wynurzenia. Dobra znajomość anatomii płuc jest niezbędna, aby można było zrozumieć związane z tym ryzyko. Oskrzela główne dzielą się na mniejsze oskrzeliki, które dalej dzielą na coraz mniejsze, aż przechodzą w przewody pęcherzykowe, zakończone pęcherzykami płucnymi. Pęcherzyki są kluczowe dla realizacji funkcji układu oddechowego, bo to w nich zachodzi wymiana gazowa. Te delikatne pęcherzyki są otoczone cienką membraną o grubości jednej lub dwóch komórek, oplecione siecią naczyń włosowatych. Wystawione na działanie powietrza o ciśnieniu atmosferycznym na poziomie morza, nasze płuca są w stanie równowagi podczas każdego wdechu i wydechu. Małe zmiany ciśnienia w płucach, jakie zachodzą ze zmianą wysokości, są wyrównywane podczas każdego oddechu.

W czasie zanurzania się w wodzie wszystkie przestrzenie wypełnione powietrzem mają tendencję do kurczenia się pod wpływem zwiększającego się ciśnienia otoczenia. Na przykład objętość płuc nurkującego na wstrzymanym oddechu zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości. Ponieważ automaty oddechowe podają gaz pod ciśnieniem otoczenia nurka, oddychanie nim na głębokości zapobiega zmniejszaniu się objętości płuc. Nadmierne ciśnienie gazu oddechowego będzie prowadziło do stopniowego zwiększenia się objętości płuc aż do granicy elastyczności pęcherzyków. Wtedy nastąpi ciśnieniowy uraz płuca. To wepchnie gaz w jedno z trzech miejsc:

1. w przestrzeń w klatce piersiowej (pomiędzy ściany opłucnej), powodując odmę;
2. pomiędzy płaty płuca, skąd może przedostać się w przestrzeń wokół serca lub w kierunku szyi i krtani, wywołując rozedmę śródpiersiową; lub
3. do krwi.

W tym ostatnim przypadku (tętniczy zator gazowy, lub z ang. AGE - arterial gas embolism) pęcherzyk gazu może przejść przez naczynia włosowate płuc do żyły płucnej, skąd przez serce do tętnicy szyjnej i do mózgu (zator gazowy tętnic mózgowych, lub CAGE - cerebral AGE). Wprawdzie ten opis brzmi wiarygodnie, ale nie jest w pełni wyczerpujący. Tanka płuc jest bardzo miękka i ktoś może oczekiwać, że śródmiąższ płuca i naczynia krwionośne również będą podlegały wzrostowi ciśnienia jak pęcherzyki. Naczynia krwionośne mogą zapadały się, niedopuszczając do dostania się gazu do krwiobiegu. Może gaz

wchodzi do naczyń krwionośnych w „rogach” płuca – na przykład pomiędzy płucem i śródpiersiem, gdzie różnica ciśnień może spowodować rozdarcie, umożliwiając powietrzu z pęcherzyków dostać się do krwi. Należy zwrócić uwagę, że wystarczy ze wstrzymanym oddechem wynurzyć się z głębokości 1,2 metra, aby mogło dojść do rozerwania pęcherzyków płucnych, powodując uszkodzenie płuca i jeden z trzech podanych wyżej scenariuszy.

Dla stałej ilości gazu, związek pomiędzy jego objętością i ciśnieniem zewnętrznym jest opisany przez prawo Boyle’a. Irlandzki fizyk i chemik, Robert Boyle odkrył, że w stałej temperaturze i przy stałej masie, objętość gazu jest odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia wywieranego na ten gaz. Gdy podwaja się ciśnienie, objętość spada do połowy pierwotnej wartości. I odwrotnie, gdy zmniejszy się ciśnienie o połowę, objętość podwoi się. Na nurka na głębokości 4,6 m działa ciśnienie 1,5 atmosfery (1 atmosfera ciśnienia powietrza i dodatkowe 0,5 atm ciśnienia słupa wody). Nagłe wynurzenie się do powierzchni spowoduje 30% spadek ciśnienia, i przy założeniu że ściana klatki piersiowej jest podatna, objętość jej wzrośnie o 50%. Może dojść do urazu płuca. Rzeczywiste zmiany objętości mogą być mniejsze od teorii, ponieważ klatka piersiowa i tkanki wokół płuca będą chroniły je nieco.

Tym niemniej, jeśli coś takiego zdarzy się na głębokości 20 metrów, zmiana głębokości dająca spadek ciśnienia o 0,5 atmosfery spowoduje tylko 16% spadku ciśnienia i wzrost objętości o 20%. A to oznacza, że ryzyko urazu będzie znacznie mniejsze. Prawo Boyle’a tłumaczy, dlaczego nagłe zmiany głębokości na płytkiej wodzie są bardziej niebezpieczne niż takie same zmiany głębokości znacznie niżej.