Dwutlenek węgla – przerażający wróg (część 1)

Jest to pierwszy z trzech artykułów dotyczących dwutlenku węgla, jednego z najczęstszych czynników przyczyniających się do wystąpienia sytuacji awaryjnych w nurkowaniu. Część 2 i 3 zostaną opublikowane w kolejnych wydaniach Alert Diver.

O mały włos

Pozwólcie, że rozpocznę od osobistej historii. W 2016 roku brałem udział w nurkowaniu jaskiniowym w cenote Regina, niedaleko Tulum w Quintana Roo w Meksyku. Naszym celem było odwiedzenie sekcji z morską wodą, która znajduje się na głębokości ok. 30 metrów, a maksymalna głębokość dla tego konkretnego nurkowania wynosiła 34 metry. Wykonywaliśmy je z czterema butlami AL80 (twin i dwa stage) napełnione EAN32 oraz mieliśmy butle AL40 z tlenem do dekompresji, które zostawiliśmy niedaleko wejścia na głębokości 6 metrów. Zaplanowany czas nurkowania wynosił 200 do 210 minut.

Wszedłem do wody po nie więcej niż 3 godzinach snu poprzedniej nocy z powodu obowiązków w pracy – patrząc z perspektywy czasu nie był to najlepszy pomysł. Kiedy podejmowałem tę decyzję, nie miałem jednak tej perspektywy i bardzo chciałem tam zanurkować.

Cenot Regina jest niesamowicie piękny i na początku wszystko szło gładko. Osiągnęliśmy ciśnienie, przy którym mieliśmy zawracać do miejsca wyjścia po około 90 minutach bardzo przyjemnego nurkowania. Przed nami mieliśmy teraz drogę z powrotem, której przepłynięcie zajmowało mniej więcej tyle samo czasu, a potem musieliśmy wykonać dwudziestominutową dekompresję na płytkiej wodzie.

Może 10 minut później, około 100 minut po rozpoczęciu nurkowania zacząłem mieć bardzo dziwne uczucie: moja przepona zaczęła dygotać, a mój oddech stopniowo zmienił się w coś, co mogę opisać tylko jako niekontrolowane łkanie, ale bez jakiegokolwiek emocjonalnego kontekstu, który zazwyczaj jest powiązany z tego typu fizjologicznymi objawami. Starałem się skupić i odzyskać kontrolę nad mięśniami, ale łkanie stało się jeszcze bardziej wyraźne. Zdałem sobie sprawę, że prawdopodobnie nie oddycham zbyt efektywnie i wydycham więcej bąbelków niż zwykle.

Zdjęcie autorstwa Joram Mennes

Nie minęło dużo czasu, zanim ta sytuacja zaczęła mieć wpływ na stan mojego umysłu: zaczął pojawiać się niepokój razem z uczuciem, że nie mogę zassać wystarczająco dużo powietrza z mojego drugiego stopnia. Na wszelki wypadek zmieniłem automat i efekt był dokładnie ten sam.

Pokazałem sygnał moim partnerom z zespołu, że mam problem i zatrzymaliśmy się. Zacząłem czuć nagłą chęć jak najszybszego wypłynięcia na powierzchnię oraz całkowicie zbędną w tym momencie potrzebę opróżnienia pęcherza moczowego biorąc pod uwagę fakt, że byliśmy prawie dwie godziny drogi od wyjścia, a nad nami było prawie trzydzieści metrów skały i gleby.

Spędziłem kolejne kilka minut – nie wiem dokładnie, jak długo, ale wydawało mi się, że to była wieczność – debatując z głosem w mojej głowie, który starał się mnie przekonać, że przerwanie nurkowanie właśnie teraz byłoby w porządku. Przecież ludzie zrozumieją. Uciszenie tego głosu kosztowało mnie sporo wysiłku i siły woli i jestem gotowy przyznać, że ta decyzja nadal nie była całkowicie przesądzona.

W końcu łkanie ustąpiło, a my kontynuowaliśmy naszą drogę powrotną w wolnym tempie. Opóźnienie i moje szybsze oddychanie uszczupliło trochę naszą rezerwę. Chociaż nawet nie zbliżyliśmy się do sytuacji „mało powietrza”, na widok pierwszej butli stage z kolejnymi 110 barami nitroksu poczułem dużą ulgę.

Skończyliśmy nurkowanie z półgodzinnym opóźnieniem, co wynikało z przerwy, którą musiałem zrobić i zwiększonej przez to dekompresji, ale wypłynęliśmy na powierzchnię. Wróciłem do tej jaskini następnego dnia z postanowieniem, że będę spać więcej i zadowolę się nieco mniejszym kawałkiem tortu, przynajmniej w najbliższej przyszłości.

Podczas dyskusji po nurkowaniu stwierdziliśmy, że głównym powodem mojego problemu było

prawdopodobnie nagromadzenie się dwutlenku węgla w krwiobiegu, a czynnikiem, który zwiększył jego działanie było zmęczenie spowodowane brakiem snu. To właśnie wiąże się z tematem tego artykułu.

Photo credit by Joram Mennes

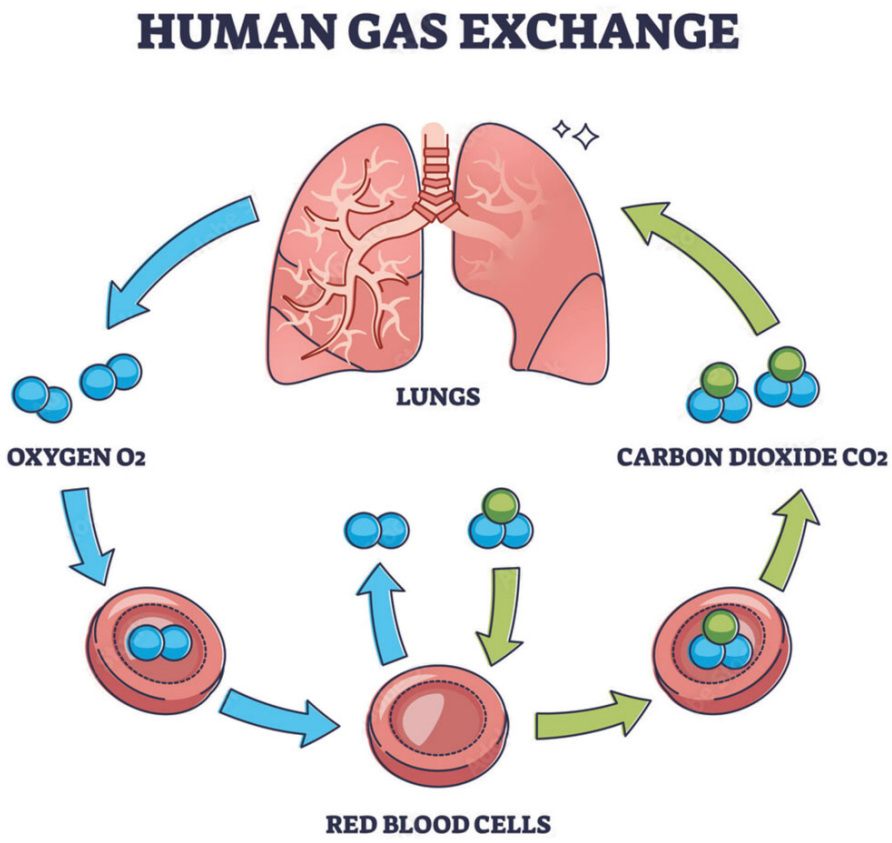
Metabolizm dwutlenku węgla w (bardzo małej) pigułce

Dwutlenek węgla jest produktem ubocznym metabolizmu komórek. Wdychamy gaz, który zawiera tlen. Nasze płuca absorbują część tlenu do krwiobiegu, gdzie jest on zabierany przez czerwone krwinki (*hemoglobinę*). Krew bogata w tlen przechodzi przez lewą stronę serca, gdzie jest pompowana najpierw do mózgu i ośrodkowego układu nerwowego, a potem do reszty naszego ciała.

W wielu częściach ciała zachodzą biochemiczne reakcje, w których tlen łączy się z węglem (przyjmowanym z pokarmem) i tworzy dwutlenek węgla. Reakcje te generują energię, która pozwala nam funkcjonować.

Krew pozbawiona tlenu przenosi teraz dwutlenek węgla w różnych postaciach i wraca do prawej strony serca, które pompuje ją do płuc, gdzie dwutlenek węgla zostaje usunięty wraz z wydechem.

Uwaga: w rzeczywistości mechanika ta jest o wiele bardziej skomplikowana. CO_2 nie jest tylko produktem ubocznym, ale odgrywa ważną rolę w regulacji kwasowości krwi. Tylko mniej niż 10% całego CO_2 znajdującego się we krwi zostaje usunięte w płucach. Szczegóły można znaleźć tutaj.



Jak zmierzyć łotra

Istnieje kilka mierzalnych pomiarów fizjologicznych, które opisują ten proces. Zdolność naszych płuc do absorbowania tlenu określa się jako *VO_2 max*. Jest to maksymalna pojemność tlenu, które nasze płuca są w stanie dostarczyć naszemu organizmowi w określonej jednostce czasu i w stosunku do masy ciała. Sportowcy trenujący wytrzymałość znają je jako pomiar wydolności układu krążenia.

Drugim ważnym pomiarem jest *współczynnik wymiany oddechowej* (respiratory exchange ratio – RER), który określa stosunek usuwanego dwutlenku węgla do wdychanego tlenu. Normalny RER u człowieka w spoczynku wynosi 0,8, co oznacza, że kiedy odpoczywamy, wydychamy tylko cztery cząsteczki CO_2 na każde zużyte pięć cząsteczek O_2. W organizmie pozostaje równowaga tlenowa. Podczas wysiłku RER może wzrosnąć nawet do 1,2 lub więcej. Oznacza to, że nasz metabolizm wykorzystuje rezerwy tlenu, które zostały zmagazynowane w mięśniach (chemicznie połączone z *mioglobiną*) podczas odpoczynku. RER równy 1,0 określa się jako *próg anaerobowy* – kolejny termin znany sportowcom.

Podczas wysiłku nasz organizm ma zwiększone zapotrzebowanie na tlen i produkuje więcej dwutlenku węgla. Kiedy ilość wyprodukowanego CO_2 przekracza zdolność naszego metabolizmu oddechowego do usunięcia go z krwiobiegu podczas wydechu, dwutlenek węgla zaczyna gromadzić się w organizmie. Wie o tym każdy freediver – uczucie braku powietrza i chęć wzięcia wdechu nie są powodowane przez brak tlenu (jest go na tyle dużo, aby poradzić sobie w większości sytuacji, a jego brak spowoduje, że po prostu stracisz przytomność) – ale nadmiar CO_2, czyli *hiperkapnię.*

Na tym kończymy pierwszą część naszej małej serii. W części drugiej przyjrzymy się bliżej fizjologii dwutlenku węgla w organizmie człowieka, jaki wpływ ma na niego nurkowanie i co sprawia, że hiperkapnia jest tak niebezpieczna. W części trzeciej skupimy się na środkach zaradczych, czyli umiejętnościach i

procedurach, dzięki którym możemy kontrolować ilość CO_2. Bądźcie bezpieczni i pozostańcie na bieżąco!

Podwodne zdjęcia zamieszczone w tym artykule przedstawiają oszałamiającą Cenote Regina. Zostały one wykonane przez Jorama Mennesa i nurka Stratisa Kasa. Dziękujemy im obu za zrobienie tych wspaniałych zdjęć, specjalnie dla tej zawartości Alert Diver.

O autorze

Tim Blömeke uczy nurkowania rekreacyjnego i technicznego na Tajwanie i Filipinach. Jest również niezależnym pisarzem i tłumaczem oraz członkiem zespołu redakcyjnego Alert Diver. Jeśli masz pytania lub komentarze, możesz skontaktować się z nim przez blog lub na Instagramie.

Tłumacz: Agnieszka Kostera-Kosterzewska