

Odruch nurkowy

Każdy, kto choć trochę interesuje się freedivingiem słyszał o tym pojęciu. Z pewnością zna je również wielu nurków sprzętowych. Odruch nurkowy lub nurkowy odruch ssaków, z angielska *dive response* lub *mammalian diving reflex* odnoszą się do zespołu reakcji organizmu na bezdech i nurkowanie z zatrzymanym oddechem.

Zamknięcie dróg oddechowych jest równoznaczne z pozbawieniem płuc możliwości wymiany gazowej z otoczeniem, a więc skazaniem organizmu tylko na ten zapas tlenu, jaki ma on zgromadzony w płucach, krwi (głównie w postaci związanej z hemoglobina) oraz w skromnych ilościach w mioglobinie mięśni i w innych tkankach. W tej sytuacji ciało podejmuje zespół działań, których celem jest zaoszczędzenie tej niewielkiej ilości tlenu dla najważniejszych, z punktu widzenia przeżycia, organów tj. serca i mózgu, lub mówiąc szerzej centralnego układu nerwowego. Wyjątkowo wrażliwy na niedotlenienie jest zwłaszcza mózg, którego komórki, w odróżnieniu od innych komórek naszego ciała, nie są w stanie funkcjonować beztlenu. Dlatego pozostawienie mózgu bez dopływu tlenu powoduje najpierw (właściwie natychmiast) utratę przytomności, a później (po zaledwie czterech, pięciu minutach) jego stopniowe obumieranie i degenerację funkcji centralnego układu nerwowego. W pierwszej kolejności upośledzeniu ulegają wyższe czynności nerwowe, a w dalszej również funkcje wegetatywne.

Narzędziem, jakim posługuje się organizm, by zapobiec tym fatalnym konsekwencjom, do których może prowadzić przedłużające się pozostawanie w bezdechu, jest właśnie odruch nurkowy. W literaturze przyjęło się ograniczać go do trzech reakcji:

- **bradykardii** tj. zwolnienia rytmu serca
- **obwodowej wazokonstrykcji** czyli obkurczenia obwodowych naczyń krwionośnych
- **efektu śledzionowego** tj. wystrzeliwaniu czerwonych krwinek ze śledziony do krwioobiegu

W moim przekonaniu należy jednak rozszerzyć rozumienie odruchu nurkowego o dwa dodatkowe zjawiska:

- **wazodylatację** (rozszerzenie) mózgowych naczyń krwionośnych
- **efekt Bohr'a**

Warto wspomnieć, że niektórzy dodatkowo zaliczają do odruchu nurkowego:

- tzw. **centralizację krążenia** (z angielska blood shift).

Polega ona na przepompowaniu dużych ilości krwi do naczyń krwionośnych małego (tj. płucnego) krążenia, co ma miejsce przy nurkowaniach głębokich i zapobiega zgnieceniu klatki piersiowej, „opróżnionej” po skompresowaniu znajdującego się w płucach powietrza. Jest

to jednak efekt, którego charakter jest odmienny od pozostałych wyżej wymienionych, bo nie związany z oszczędzaniem tlenu, dlatego nie będziemy się nim tutaj szerzej zajmować. Temat ten zasługuje na oddzielny artykuł.

Spróbujmy, krok po kroku wyjaśnić działanie i znaczenie poszczególnych elementów odruchu nurkowego.

Bradykardia

To najłatwiej zauważalna składowa odruchu. Aby ją zaobserwować i zmierzyć wystarczy zwykły zegarek ze stoperem i z tego powodu często używana jest, jako swego rodzaju wskaźnik pojawienia się odruchu nurkowego oraz miernik siły z jaką się on manifestuje. Serce, jako mięsień zawsze pracujący, również gdy pozostajemy w spoczynku, nieustannie konsumuje tlen. Zwolnienie jego akcji przynosi więc oczywiste oszczędności, bo im wolniej serce bije, tym mniej tlenu zużywa. Mimo zwolnienia tętna, nie rośnie bowiem siła skurczy mięśnia sercowego, która wyraża się w tzw. objętości wyrzutowej, tj. ilości krwi jaka wyrzucana jest z każdej komory w jednym skurczu. W trakcie bezdechu pozostaje ona na niezmiennym poziomie. W związku z tym objętość minutowa, czyli ilość krwi jaka przepompowywana jest przez serce, a więc i przechodząca przez cały układ krążenia w jednej minucie, ulega obniżeniu proporcjonalnie do stopnia zwolnienia tętna.

Obwodowa wazokonstrykcja

Polega na obkurczeniu tj. zmniejszeniu światła obwodowych naczyń krwionośnych, które dostarczają krew do peryferii takich jak skóra, palce, stopy, a w dalszej kolejności również całe kończyny. Ilość krwi docierająca do tych organów w jednostce czasu ulega zmniejszeniu, a więc ograniczeniu ulega też ilość dostarczanego tam tlenu. Dlatego te nieistotne dla przeżycia organy konsumują go mniej i dlatego zostaje on zaoszczędzony dla serca i mózgu. Uważa się, że w stanach maksymalnej wazokonstrykcji, które występują w późnych fazach bezdechu, zwłaszcza w nurkowaniach na duże głębokości, kończyny zaopatrywane są w krew i tlen w minimalnym stopniu i w związku z tym pracują praktycznie wyłącznie w oparciu o procesy beztlenowe.

Odruch śledzionowy

Śledziona jest, między innymi, rezerwuarem erytrocytów (czerwonych krwinek), które z kolei zawierają hemoglobinę – czerwony barwnik krwi transportujący tlen. W trakcie bezdechu śledziona kurczy się, wstrzykując zgromadzone w niej erytrocyty do krwioobiegu. Powiększa to pojemność tlenową krwi (co oczywiście wydłuża czas możliwy do pozostawania w bezdechu) i jej zdolność do tzw. buforowania. Nie wchodzi w

nudne i skomplikowane szczegóły można powiedzieć, że buforowanie łagodzi skutki retencji dwutlenku węgla. Dla wstrzymującego oddech freedivera oznacza to zmniejszenie dyskomfortu, który zawsze pojawia się, a następnie stopniowo narasta w miarę trwania bezdechu.

Nurkujące ssaki mają śledzoną całkiem sporych rozmiarów, na przykład foka Weddella jest w stanie zgromadzić w niej ponad 20 litrów krwi. Ludzka jest stosunkowo niewielka (waży ok. 150 – 200 g i mieści tylko ok. 50 ml krwi), jednak mimo to wydaje się, że efekt śledzionowy i u nas ma pewne znaczenie. Eksperymenty pokazują, że czas na jaki ludzie są w stanie zatrzymać oddech na ogół rośnie w kolejnych, następujących po sobie próbach. Tłumaczymy to tym, że z każdym kolejnym bezdechem śledziona kurczy się coraz bardziej i uwalnia kolejne porcje czerwonych krwinek (choć w pewnych doświadczeniach istotna redukcja rozmiarów śledziony miała miejsce tylko po pierwszej próbie). Potwierdza to przypuszczenie fakt, że u osób po splenektomii (chirurgicznym usunięciu śledziony) efekt wydłużania kolejnych bezdechów nie występuje.

Warto zrobić tu dygresję dotyczącą bardzo zaawansowanych freediverów, którzy od wielu lat regularnie uprawiają nurkowanie (oczywiście bez butli). Niektórzy z nich, wskutek systematycznego treningu, zdają się uzyskiwać pełny skurcz śledziony już w pierwszej próbie, w której osiągają swoje maksymalne czasy pozostawania w bezdechu.

Wazodylatacja naczyń mózgowych

W odróżnieniu od obwodowych, światło naczyń krwionośnych, które doprowadzają krew do mózgu w trakcie trwania bezdechu ulega poszerzeniu, co nazywamy wazodylatacją. Dzięki temu do mózgu dociera więcej krwi, a więc i więcej tlenu. W związku z tym, nawet gdy bezdech trwa na tyle długo, że krew tętnicza przestaje być w pełni nasycona tlenem, to i tak mózg otrzymuje wystarczającą jego ilość (oczywiście tylko przez pewien ograniczony czas).

Efekt Bohr'a

Efekt odkryty w 1903, a opisany w 1904 r. przez duńskiego fizjologa Christiana Bohra, ojca słynnego noblisty, fizyka Nielsa Bohra. Polega na tym, że wysoki poziom jonów wodorowych (związany z wysokim stężeniem CO²) obniża powinowactwo tlenowe hemoglobiny, czyli jej zdolność do wiązania tlenu. Dzięki temu w tkankach intensywnie pracujących, które zużywają dużo tlenu i produkują duże ilości CO², krew łatwiej pozbywa się tlenu niż w tkankach pozostających w spoczynku. W konsekwencji dystrybucja tlenu w organizmie jest bardziej efektywna, bo mięśnie pracujące otrzymują go więcej i łatwiej, a pozostające w spoczynku mniej. W przypadku wstrzymywania oddechu, któremu nieuchronnie towarzyszy wzrost stężenia CO², efekt Bohr'a sprawia, że krew oddaje do tkanek większe ilości tlenu. Podobnie jak wazodylatacja efekt ten przyczynia się do lepszego zaopatrywania mózgu w tlen

w końcowych fazach bezdechu, gdy koncentracja dwutlenku węgla osiąga wysokie wartości, a pH krwi spada. Gdyby nie efekt Bohr'a tlen pozostałby we krwi zamiast zasilić potrzebujące go tkanki.

Podsumowując, należy powiedzieć, że **odruch nurkowy wywołuje dwa główne skutki**: po pierwsze **ogranicza zużycie tlenu per saldo**, a po drugie **zapewnia jego optymalną dystrybucję**, ograniczając dostawy do organów mało istotnych i zwiększając je do najważniejszych.

Co wywołuje odruch nurkowy?

Wydaje się, że główne czynniki wywołujące odruch nurkowy są dwa. Pierwszy to stężenie dwutlenku węgla. Na samym początku bezdechu, kiedy mieści się ono w granicach normy, odruch w zasadzie jest niezauważalny. Pojawia się po kilkudziesięciu sekundach w postaci łatwego do zaobserwowania zwolnienia akcji serca i narasta wraz z upływem czasu i rosnącym poziomem CO².

Drugim czynnikiem jest niewątpliwie głębokość czyli ciśnienie. Potęguje ono obwodową wazokonstrykcję i dodatkowo wywołuje centralizację krążenia. Te dwa zjawiska są sprzężone ze sobą, bo krew przepompowywana do naczyń krwionośnych klatki piersiowej skądś musi się brać - bierze się właśnie z naczyń obwodowych. Jednocześnie w głębokich nurkowaniach serce zwalnia do ekstremalnie małych wartości, u czołowych freediverów rzędu zaledwie dziesięciu uderzeń na minutę, osiągając minimum w chwili dotarcia nurka do maksymalnej głębokości.

Z drugiej strony wiadomo o tym, że samą bradykardię można wywołać w zupełnie inny sposób, a mianowicie zanurzając twarz w zimnej (ok. 10 stopni) wodzie, pod warunkiem jednak, że reszta ciała pozostaje w ciepłym powietrzu.

Skąd się wziął?

Ciekawym pytaniem jest, jakie są przyczyny tego, że ludzie posiadają odruch nurkowy. Pierwotnie został on zaobserwowany u nurkujących ssaków. Stąd jego nazwa i nasuwające się natychmiast wyjaśnienie, że u nich wykształcony został przez ewolucję celowo dla doprowadzenia do perfekcji ich umiejętności nurkowych. Ma ona kluczowe znaczenie zarówno w zdobywaniu pożywienia przez delfiny, foki, wydry itp., jak i w czasie ich ucieczek przed drapieżnikami, a więc decyduje o byciu, albo nie byciu gatunku.

Freediverzy wierzą, że u podstaw odruchu nurkowego u ludzi leżą powody podobne jak u nurkujących ssaków, ale znajdujące się w odległej przeszłości, kiedy to protoplaści naszej rasy mieli spędzać większą część czasu w wodzie, uprawiając podwodne polowania. Jest to tak zwana teoria wodnej małpy. Mocno wierzył w nią wielki Jacques Mayol, który tę teorię odnoszącą się do ludzkości jako gatunku uzupełniał o doświadczenia każdego z nas jako jednostki. Człowiek pierwsze dziewięć miesięcy życia spędza wszak w wodach płodowych swojej matki, a więc w środowisku wodnym, w dodatku o składzie bardzo zbliżonym do składu wody morskiej. Te dwa elementy razem wzięte mają dawać ludziom potencjał do nurkowania na zatrzymanym oddechu, wyrażający się w

postaci odruchu nurkowego. Z racji wielu tysięcy lat rozwoju ludzkości w środowisku lądowym jest on obecnie uśpiony, ale każdy z nas może go w łatwy sposób pobudzić do życia przez rozpoczęcie nurkowania na zatrzymanym oddechu. Czy jednak ta romantyczna teoria jest aby prawdziwa?

Znany szwedzki freediver, Sebastian Näslund rzucił ostatnio prowokacyjne pytanie: czy przypadkiem tak zwany odruch nurkowy nie jest po prostu zwykłą reakcją organizmu na stres wywołany niedotlenieniem i w rzeczywistości nie ma on żadnego związku z nurkowaniem?

Obkurczenie naczyń krwionośnych dostarczających krew do skóry, to wg jego przekornej tezy (ogłoszonej, nie bez przyczyny, w dniu 1 kwietnia) normalna reakcja stresowa (mniej krwi przy powierzchni ciała, to mniejsze krwawienie w przypadku zranienia). Bradykardia to oszczędzanie tlenu, którego w sytuacji zatrzymania oddechu w oczywisty sposób jest mniej niż normalnie, trzeba więc nim ekonomicznie gospodarować. Centralizacja krążenia, która miałaby jakoby wykształcić się w celu umożliwienia ludziom nurkowania na wielkie głębokości nie jest reakcją fizjologiczną, ale raczej fizyczną, żeby nie powiedzieć hydrauliczną (narastające podciśnienie w klatce piersiowej po prostu zasyssa krew z innych obszarów organizmu). Ponadto nurkowanie na duże głębokości w celu zdobycia pożywienia nie ma i nigdy nie miało żadnego uzasad-

nienia, bo przecież wszelkie dobra świata podwodnego są osiągalne blisko powierzchni, a z pewnością były takimi w zamierzchłej przeszłości, gdy oceany nie były przetrzebione połowami i stanowiły prawdziwy róg obfitości. Co więcej, można dodać, że odruch nurkowy manifestuje się nie tylko u ludzi, ale również u innych ssaków lądowych, a także gadów, a nawet u ... ryb! Tyle, że u tych ostatnich ma on miejsce po wyciągnięciu z wody, a więc gdy pozostają one ni mniej, ni więcej... w bezdechu. Wszystko to daje całkiem solidne podstawy do kwestionowania faktu, że odruch nurkowy jest w swej istocie odruchem mającym cokolwiek wspólnego z nurkowaniem!

Jednak, w gruncie rzeczy, to czy przyczyną jego istnienia jest nasze romantyczne, wywodzące się sprzed setek tysięcy lat dziedzictwo związane z wodą, czy też banalna, wręcz prymitywna reakcja organizmu na stres, tak naprawdę nie ma żadnego praktycznego znaczenia. Bezspornym faktem bowiem jest, że jak bardzo by jego nazwa była nieadekwatna, odruch nurkowy jednak rzeczywiście istnieje i sprawia, iż organizm rozsądniej gospodaruje tlenem. To niewątpliwie pozwala na dłuższe, głębsze i bezpieczniejsze nurkowanie na zatrzymanym oddechu. A czyż nie chodzi nam właśnie o to?

Tomek „Nitas” Nitka
tomek@nitas.pl

centrum turystyki podwodnej

NAUTICA



www.nautica.pl

- >>>baza Nautica w Egipcie Sharm El Sheikh
- >>>baza Nautica w Chorwacji Hvar Stari Grad
- >>>safari nurkowe w Egipcie
- >>>dalekie wyprawy z naszymi przewodnikami
- >>>indywidualne wyjazdy skrojone na miarę
- >>>sklepy nurkowe Kraków Warszawa
- >>>wyjazdy dla firm - incentive
- >>>szkolenia w Polsce

Kraków 12 626 00 12 biuro@nautica.pl, Warszawa 22 424 94 42 warszawa@nautica.pl

