# CHIRURGIA OKA UŻYWAJĄCA DZIAŁAJĄCEGO DO WEWNĄTRZ GAZU I ODPOWIEDNIOŚĆ JEJ UŻYCIA PRZY NURKOWANIU Z AKWALUNGIEM

Jednym z najtrudniejszych wyzwań w nurkowaniu z akwalungiem jest zapobieganie wypadkom powiązanym z obecnością gazu w ciele ludzkim. Faktycznie, podczas gdy płyny w naszym ciele są praktycznie niemożliwe do ściśnięcia, gazy reagują na zmiany ciśnienia w tkankach zmianami zajmowanej przez nie objętości. Ze wzrostem ciśnienia tkankowego, gazy zmniejszają objętość i mają tendencję do rozpuszczania się w płynach ustrojowych.

Jednakże, przy zmniejszaniu ciśnienia w tkankach, gazy zwiększają objętość i mają skłonność do przechodzenia ze stanu płynnego do dekompresji, tworząc pęcherzyki. To drugie jest przyczyną tak zwanej „choroby dekompresyjnej".
Gdzie znajdujemy zwykle gazy w naszym ciele w normalnych warunkach? Jak wiedzą wszyscy nurkowie, gazy znajdują się w płucach, drogach oddechowych, w środkowej części ucha, w zatokach przynosowych, w jelitach, itd.
Jednakże, istnieją pewne niezwykłe okoliczności, w których gaz obecny jest w częściach ciała, w których normalnie nie powinno go być. Wyłączając niektóre nienaturalne stany patologiczne, najczęściej przyczyna takiej obecności gazu jest jatrogenna, inaczej mówiąc, wywołana przez procedury medyczne.

Gazy są również używane przez lekarzy do diagnostyki i w celach terapeutycznych. Dla celów diagnostyki, są one czasami używane w radiologii. Na przykład, przy kontroli okrężnicy.
Dla celów terapeutycznych, gazy są czasami używane podczas procedur chirurgicznych. Na przykład, w niektórych fazach chirurgii brzusznej, ginekologii i oftalmologii. W tych przypadkach, obecność gazu w okresie pooperacyjnym może stworzyć przeciwwskazanie do nurkowania z akwalungiem.
W artykule tym, spojrzymy na użycie gazu w operacjach oka, w szczególności w procedurach chirurgii witreoretinalnej (chirurgii ciała szklistego i siatkówki), i jak takie użycie może przyczynić się do zredukowania ilości nurkowań u pacjentów, którzy przebyli operację. Aby uczynić to łatwiejszym dla zrozumienia dla wszystkich czytelników, będziemy unikać używania wzorów matematycznych i objaśnimy koncepcje fizyczne, znaczenie których bywa czasami trudne do uchwycenia.

**Tło:**
Pierwsze obserwacje pęcherzyków gazu w oku zwierzęcia datowane są na rok 1607. Robert Boyle zbudował komorę hiperbaryczną i umieszczał w niej różne zwierzęta. Przedmiotem dekompresji w jego maszynie była żmija i zaobserwowana była obecność pęcherzyków gazu w jej oku. Jednakże, nie umiano tego dokładnie wyjaśnić, jak był on utworzony. W rzeczywistości, może to być uznane za pierwszy w historii medycyny przypadek choroby dekompresyjnej wywołanej w laboratorium. Użycie gazu w chirurgii oka datuje się na początek ostatniego stulecia. Pierwsza próba dożylnego użycia gazu w leczeniu odklejenia siatkówki miała miejsce w 1909 roku. Użytym gazem było powietrze.
W drugiej połowie poprzedniego wieku, chirurdzy oczni rozpoczęli używanie powietrza do wspomagania

chirurgicznych procedur wyginania twardówki przy odwarstwieniu siatkówki. Później, używane były wystarczające na długo czyste gazy lub mieszanki gazów i są one nadal w użyciu, w operacjach stanów witreoretinalnych, w szczególności w pneumatycznych operacjach retinopeksji (leczenie odwarstwiania się siatkówki) oraz witreoktomii (wycięcie ciała szklistego).

**Użycie gazu w chirurgii oka obecnie**

W operowaniu przedniego segmentu oka, w szczególności katarakty lub jaskry, używanym gazem jest rzeczywiście tylko powietrze.

Użycie gazu w tego rodzaju chirurgii jest obecnie dosyć rzadkie, ponieważ pewne substancje z właściwościami lepkosprężystości, przynajmniej w bardziej nowoczesnej praktyce chirurgicznej, zastąpiły użycie powietrza.

Funkcją gazu w tych przypadkach jest utworzenie przestrzeni i środków separujących struktury wewnętrzne oka, które musi operować chirurg. Biorąc pod uwagę, że ilość powietrza użytego w przedniej komorze jest bardzo mała, gaz jest reabsorbowany w ciągu jednego lub dwóch dni i dlatego nie stwarza problemów dla pacjenta, który później decyduje się na nurkowanie, po zaleczeniu rany pooperacyjnej.

Jednakże, należy zauważyć, że nawet, jeżeli nie ma więcej gazu w oku, przed rozpoczęciem nurkowania zalecane jest odczekanie co najmniej dwóch miesięcy od operacji, w celu uniknięcia infekcji lub urażenia rany pooperacyjnej.

W operowaniu tylnego segmentu oka Długie pozostawanie gazu wewnątrz oka może powodować poważne problemy dla tych pacjentów, którzy zbyt szybko chcieliby powrócić do nurkowania.

Gazy te są używane w chirurgii witreoretinalnej, w szczególności w chirurgii odwarstwionej siatkówki lub choroby żółtej plamki. W tych przypadkach, funkcją gazu nie jest „czynienie miejsca” lub wspomaganie wizualizacji struktur wewnętrznych oka (co, wręcz przeciwnie, czyni je trudniejszymi do identyfikacji), lecz tworzenie tamponady. Tamponada oznacza siłę gazu dociskanego do siatkówki, w celu ułatwienia ustawienia jej w naturalnej pozycji, gdy miało miejsce odwarstwienie.

Odwarstwienie siatkówki jest stanem, w którym siatkówka zostaje oddzielona od ścianki oka, do której normalnie jest przytwierdzona. Dla porównania, w celu łatwiejszego zrozumienia, wyobraźmy sobie, że oko jest pokojem. Wnętrze pokoju jest pokryte tapetą. Rozdarcie tapety jest analogią najlepiej pasującą do rozerwania siatkówki. Jeżeli tapeta jest rozdarta, wilgoć może przedostać się pod nią i odkleić ją całkowicie. Przyczyny rozerwania siatkówki można znaleźć w tylnym oderwaniu ciała szklistego, zasadniczo fizjologicznego stanu, którego większość ludzi zwykle doświadcza po przekroczeniu pewnego wieku.

Nie będziemy zagłębiać się zbyt szczegółowo w tę złożoną dyskusję, lecz należy powiedzieć, że taki stan może, w niektórych przypadkach, prowadzić do rozdarcia siatkówki, prowokującego jej pęknięcia o zmiennym stopniu dotkliwości. Większość pęknięć siatkówki nie powoduje jej odwarstwienia.

Jednakże, wiele z tych pęknięć może być poddanych terapii laserowej, gdy chirurg oczny decyduje, że są one niebezpieczne i potencjalnie wstępem do odwarstwienia siatkówki. (Rysunki 1 i 2).

Pewne inne stany siatkówki, predysponujące do jej pęknięć, mogą być również leczone laserem. Gdy pęknięcie rozwija się w odwarstwienie siatkówki, pomiędzy siatkówką i ścianką oka formowana jest warstwa płynu, który uniemożliwia naturalną wymianę metaboliczną pomiędzy siatkówką i warstwą naczyniówki, bogatych w krew naczyń, które zwykle dostarczają pożywienie dla komórek nerwowych siatkówki. Odwarstwienie, jeżeli nie leczone, prowadzi do rozszerzania się na całą siatkówkę, powodując ślepotę. Celem chirurgii odwarstwienia siatkówki jest zamknięcie jej pęknięcia i umożliwienie reabsorpcji

płynu pod siatkówką. Zamknięcie rozdarcia może być uzyskane poprzez tak zwaną chirurgię nadtwardówkową, w której uciskający element (na ogół wykonany z gąbki lub gumy silikonowej)pozycjonowany jest na zewnętrznej ściance oka. W tym przypadku, ścianka gałki jest dociskana do siatkówki z zewnątrz, uzyskując funkcjonalne zamknięcie pęknięcia.

Jednakże, zamknięcie rozerwania siatkówki może być uzyskane od wewnątrz dzięki operacji witreoktomii, w której, odpowiednimi przyrządami, usuwane jest ciało szkliste, a wprowadzany jest element tamponady (w formie gazu lub płynu), który dociska siatkówkę do ścianki oka od wewnątrz, zamykając pęknięcie i pozwalając na reabsorpcję płynu pod siatkówką.
Postęp techniki chirurgicznej w chirurgii odwarstwienia siatkówki doprowadził do wzrostu użycia gazu w operacjach.
Na przestrzeni ostatnich kilku lat, w kilku wybranych przypadkach, chirurdzy rozpoczęli używanie mini-inwazyjnej procedury zwanej retinopeksją pneumatyczną, która polega na wstrzyknięciu gazu do oka, z następującą po tym terapią laserową pęknięcia siatkówki (przyczyny odwarstwienia siatkówki).

W ten sposób, odwarstwienie siatkówki leczone jest bez użycia narzędzi chirurgicznych, lecz ze wstrzyknięciem gazu, który dociska siatkówkę do ścianki oka, ponownie ją przyczepiając. Wprowadzony w ten sposób pęcherzyk gazu ma tendencję do „pływania", to jest do umiejscowienia się w górnej części oka (patrz rysunek 2). Jeżeli pacjent leży, pęcherzyk dociskany jest do krystalicznej soczewki. Jeżeli pacjent stoi lub siedzi pionowo, pęcherzyk gazu uciska siatkówkę z górnej części oka. Konieczne jest więc, przez pierwszych 24-36 godzin po operacji, pozostawanie pacjenta w pozycji określonej przez chirurga, tak aby pęcherzyk powietrza uciskał dokładnie obszar rozerwania siatkówki, od którego pochodzi jej odwarstwienie. Na ogół, w ciągu miesiąca, wprowadzony do oka gaz jest całkowicie reabsorbowany przez tkanki oczne.

Długość czasu, przez który gaz pozostaje w oku po operacji Różne typy gazu pozostają w oku przez różny czas. Po wstrzyknięciu do oka, początkowa objętość powietrza nie ulega zmianie, podczas gdy inne gazy, takie jak heksafluorek siarki i gazy fluoropochodne węglowodoru mają tendencję do rozszerzania się i zwiększania objętości w pierwszych dniach po operacji, aby następnie być całkowicie wchłoniętymi.
Gdy początkowe rozszerzanie nie jest wymagane, zamiast czystych gazów wstrzykuje się do oka mieszankę gazów z powietrzem, specjalnie obliczoną, w celu uniknięcia początkowego rozszerzenia się oka. Czy będą to czyste gazy, czy ich mieszanki, po kilku dniach, w tkankach rozpoczyna się reabsorpcja gazów, ze zmniejszaniem wymiarów pęcherzyka wewnątrz oka. Całkowity czas wymagany przez tkanki do całkowitego wchłonięcia pęcherzyka, zmienia się w zależności od rodzaju gazu. Czasami tamponada siatkówki wymagana jest przez 3 lub 4 tygodnie. Jednak, na ogół, w ciągu nieco powyżej miesiąca, wszystkie rodzaje gazów są reabsorbowane do tkanek ocznych.

**Ciśnienie wewnętrzne oka**
Ciśnienie wewnętrzne oka jest zwykle mierzone przez specjalistów ocznych przyrządem znanym jako tonometr. Ciśnienie wewnątrz oka (które lepiej byłoby nazywać względnym ciśnieniem w oku) pochodzi z różnicy między absolutnym ciśnieniem wewnątrz oka i absolutnym ciśnieniem powietrza.
Ciśnienie zawarte między 10 a 20 mm słupa rtęci jest uznawane za normalne. Oznacza to więc, że absolutne ciśnienie wewnątrz oka jest zwykle wyższe o 10 do 20 mm Hg, od absolutnego ciśnienia atmosferycznego.
Gdy do oka w teatrze operacyjnym wprowadzone jest powietrze, po początkowym wzroście ciśnienia

wewnątrz oka, który trwa kilka godzin, ciśnienie stabilizuje się i powraca do 10-20 mm Hg, ponieważ istnieje powolna wymiana gazu pomiędzy pęcherzykiem i tkanką oczną. Jak więc widzimy, gdy w oku obecny jest pęcherzyk gazu, szybkie zmiany ciśnienia zewnętrznego (na przykład, podczas nurkowania lub lotu) wywołują zmiany ciśnienia wewnątrz oka.

Faktycznie, pęcherzyk gazu wewnątrz oka nie może ulotnić się z niego lub być wchłonięty przez tkanki wystarczająco szybko. Jak mówiliśmy przedtem, ciśnienie wewnątrz oka pochodzi z różnicy między absolutnym ciśnieniem wewnętrznym oraz tym zewnętrznym. Dlatego, w obecności pęcherzyka wewnątrzocznego, jeżeli zmniejsza się ciśnienie zewnętrzne, na przykład, podczas lotu, ciśnienie wewnątrzoczne rośnie. Ponownie, w obecności wewnątrzocznego pęcherzyka gazu, jeżeli ciśnienie zewnętrzne wzrasta, jak ma to miejsce podczas nurkowania, ciśnienie wewnątrzoczne maleje. Wzrost ciśnienia wewnątrzocznego jest niebezpieczny, ze względu na szkody, które może spowodować rozszerzający się pęcherzyk w wewnętrznych strukturach oka, zwiększając objętość. Zmniejszenie ciśnienia wewnątrzocznego jest również niebezpieczne ze względu na ucisk tkanek otaczających oko na gałkę oczną (która przy okazji, staje się obwisła).

Gaz wewnątrzoczny a nurkowanie Obecnie rozważmy nurkowanie z niechronionymi oczami lub ze szkłami kontaktowymi, lecz bez maski nurkowej. Podczas schodzenia pod wodę, zewnętrzne ciśnienie wody przechodzi przez tkanki oczne. W tym przypadku, zewnętrzne ciśnienie wody odpowiada wewnętrznemu ciśnieniu we wszystkich częściach oka. Ciśnienie wewnątrzoczne (względne), jak zdefiniowano uprzednio, ma tendencję do pozostawania stałym, lecz absolutne ciśnienie wewnątrzoczne zwiększa się w porównaniu do tego, obecnego na powierzchni wody. Atmosfera hiperbaryczna prowadzi do zmniejszania objętości pęcherzyka gazu, stopniowo wprowadzonego do oka przed nurkowaniem, które następnie prowadzi do zapadnięcia ścianki ocznej, z potencjalną szkodą dla struktur wewnętrznych oka. W rzeczywistości, nurek zwykle zakłada maskę pełną powietrza. Dlatego, obliczenie ciśnienia komplikowane jest przez obecność pęcherza powietrza w masce.

Płaszczyzna styku między powietrzem i twarzą nurka jest krytycznym punktem gradientu ciśnienia. Jeżeli ciśnienie przestrzeni powietrznej z przodu oczu nurka nie zostaje zwiększone przez „manewr wyrównania ciśnienia maski", ciśnienie powietrza w masce staje się niższe od tego poza wodą. Wynikiem jest „ssanie"; tak zwany „ucisk maski". Tkanki oka i twarzy z ciśnieniem wyższym od tego wewnątrz maski, są wpychane, aby wniknęły do samej maski.
Zjawisko to znane jest w świecie nurkowania, jako „ucisk maski". Jednakże, wynikiem jest deformacja i przemieszczenie tkanek w oku w kierunku wnętrza maski, obrzęk tkanek i czasami krwotoki.

Faktycznie, przy schodzeniu pod wodę, różnice pomiędzy ciśnieniem w naczyniach krwionośnych i tkankach śródmiąższowych oraz ciśnieniem powietrza w masce znacznie się zwiększają, w porównaniu z sytuacją na powierzchni wody. Dlatego też, incydenty nurkowe, w których ciśnienie w masce nie jest odpowiednio zwiększone, mogą uszkodzić obszar oczny, z bólem i krwawieniem podspojówkowym. Szczęśliwie, uszkodzenia i krwawienia wewnątrz oka nie są powszechne. Dla nurków, którzy posiadają pęcherzyk gazu w oku, jeżeli ciśnienie w masce jest takie samo, jak zewnętrzne ciśnienie wody, pęcherzyk gazu wewnątrz oka, jak opisano w przypadku niezabezpieczonego oka pod wodą, zmniejsza objętość i oko może się zapaść.

Zmiany ciśnienia wewnątrz maski, jak przy zewnętrznym ciśnieniu wody, mogą prowokować zmiany objętości gazu wewnątrz oka. W przypadku „ucisku maski", ciśnienie w masce niższe od ciśnienia wody (a przez to od tego w oku) może spowodować wzrost objętości wewnątrzocznego pęcherzyka gazu. To może skończyć się rozciągnięciem gałki i przemieszczeniem do przodu krystalicznej soczewki oraz innych struktur ocznych. Przeciwieństwo nie jest możliwe, gdyż ciśnienie w masce, gdy jest większe od ciśnienia

wody (a przez to oka) prowadzi do ucieczki powietrza z maski i wyrównania ciśnienia w masce, które staje się równe temu na zewnątrz.

W świetle tych fizycznych i fizjologicznych rozważań, zalecane jest wstrzymanie się z nurkowaniem tak długo, jak długo gaz pozostaje w oku po procedurze chirurgicznej.
Zalecenie to również figuruje na arkuszu instrukcji producentów butli gazowych używanych w chirurgii. Gaz wewnątrzoczny a latanie Nurkowie często podróżują na duże dystanse, aby osiągnąć odległe miejsca nurkowania. Latanie jest niebezpieczne dla oka, jeżeli obecny jest w nim gaz wewnątrzoczny.
Ciśnienie powietrza w kabinie samolotu jest na ogół takie samo, jak ciśnienie atmosferyczne w górach na wysokości ok. 1500 metrów nad poziomem morza.

Absolutne ciśnienie wewnątrzoczne, jak zdefiniowaliśmy poprzednio, ma skłonność do pozostawania stałym, lecz ciśnienie względne (to jest, porównywane z zewnętrznym) zwiększa się w porównaniu do tego z portu lotniczego, który opuściłeś (oczywiście, jeżeli port lotniczy znajduje się na wysokości poniżej 1500 m n.p.m.).
Na pokładzie samolotu, prowadzi to do rozszerzania się pęcherzyka gazu wprowadzonego do oka pod ciśnieniem pomieszczenia (w teatrze operacyjnym), przy ciśnieniu na ogół bliższym tego z poziomu morza, a przez to wyższym. Rozszerzony w ten sposób pęcherzyk gazu, może prowadzić do uszkodzenia wewnątrzocznego, przemieszczając i uciskając tkanki wewnątrzoczne.

Dlatego też, gdy w oku znajduje się pęcherzyk powietrza, należy unikać podróży powietrznych. Stosowność dla nurkowania Terapia laserowa pęknięć siatkówki. Nurkowie często proszą o więcej informacji o tej procedurze. W niektórych przypadkach, jest to związane z wprowadzeniem gazu (retinopeksja pneumatyczna), co będzie omówione dalej w tym artykule. Jednak, w większości przypadków, jest ona przeprowadzana bez wprowadzania gazu do oka.  Jest to profilaktyczne leczenie pęknięcia siatkówki, które przeprowadzane jest, w celu uniknięcia jej odwarstwienia. W niektórych przypadkach, niewielkie zlokalizowane odwarstwienie może być ograniczone terapią laserową, która blokuje jego rozprzestrzenianie się do innych części siatkówki, zapobiegając w ten sposób dalszym szkodom. W pewnych typach procedur chirurgicznych przy odwarstwieniu siatkówki, terapia laserowa jest przeprowadzana po tym, jak siatkówka została przytwierdzona nadtwardówkowymi i przeztwardówkowymi (witreoktomia lub retynopeksja pneumatyczna) technikami chirurgicznymi.

Wszystkie przypadki terapii laserowej polegają na prowokowaniu mikroskopijnych oparzeń siatkówki, które podczas zabliźniania, blokują przenikanie płynu z ciała szklistego do obszaru pod siatkówką. Nie istnieją przeciwwskazania do nurkowania po terapii laserowej pęknięć siatkówki lub degeneracji siatkówki bez jej odwarstwienia, jeżeli do oka nie był wprowadzony gaz. Oczywiście, należy unikać traumy lub forsownych działań przez około 3 tygodnie po procedurze, aż do zaleczenia blizn na siatkówce. Podczas nurkowania trzeba również unikać „ucisku maski”.

Operacje katarkty, retinopeksji pneumatycznej, witreoktomii, chirurgii nadtwardówkowej przy odwarstwieniu siatkówki.
W ramach środków zapobiegawczych, zaleca się powstrzymać od nurkowania i podróży lotniczych przez około 2 miesiące po procedurach medycznych. Ten czas powrotu do zdrowia pozwala na wchłonięcie do tkanki ocznej gazu użytego podczas operacji. Nurkowanie i podróż lotnicza mogą być dozwolone ponownie nawet wcześniej, po pełnej zgodzie specjalisty ocznego, jeżeli podczas operacji nie był do oka wprowadzany gaz lub, jeżeli gaz był użyty, gdy specjalista skontroluje i wykluczy obecność wewnątrzocznego gazu, a rana pooperacyjna została całkowicie zaleczona.

| Fig. 1 | Fig. 2 | Fig. 3 |
| --- | --- | --- |
| | | |

**Podziękowania**

Specjalne podziękowania dla Diego Dicka, Giorgio Orlandelliego, doktora Paolo Perosa z centrum nurkowego Cala Lunga w La Maddalena, za ich pomoc w opracowaniu tego artykułu.