POLISH HYPERBARIC RESEARCH 3(64)2018
Journal of Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society
Faculty of Mechanical and Electrical Engineering of the Polish Naval Academy

WYPADKI SPOWODOWANE RÓŻNICĄ CIŚNIEŃ POWIETRZA WEWNĄTRZ APARATU NURKOWEGO I WODY OTACZAJĄCEJ NURKA

Augustyn Dolatkowski

Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni

STRESZCZENIE

W pracy opisano 4 nieszczęśliwe wypadki wywołane różnicą ciśnienia wewnątrz i na zewnątrz skafandra nurka. Wyjaśniano zagadnienia związane ze ściśnięciem nurka, chorobą kesonową, zbyt szybkim wynurzeniem na powierzchnię a także niedotlenieniem w rezultacie wyczerpania się tlenu w aparacie nurkowym. Analizowano przy tym mechanizm urazów u nurków i zasugerowano metody profilaktyki tych nieszczęśliwych wypadków.
Słowa kluczowe: niedotlenienie, zgniecenie nurka, wyrzucenie nurka, uraz ciśnieniowy płuc.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2018 Vol. 64 Issue 3 pp. 45 - 54
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2018-0018
Strony: 9, rysunki: 4, tabele: 0
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: kazuistyczny (opis przypadków)

Opublikowano w Lekarzu Wojskowym 1961
Termin zatwierdzenia do druku w PHR: 08.08.2018 r.

WSTĘP

Zbyt mała znajomość przez większość lekarzy tematyki chorób nurków zawęża ich kąt patrzenia na zaburzenia w czasie wymiany gazowej zachodzącej w ustroju nurka wyłącznie do choroby kesonowej (ciśnieniowej).

Tymczasem dysproporcja zachodząca między ciśnieniem powietrza wewnątrz skafandra a ciśnieniem słupa wody na zewnątrz skafandra jest dostatecznym powodem do wywołania całego szeregu uszkodzeń organizmu nurka, niezależnie od choroby ciśnieniowej.

Pozwolę sobie przytoczyć cztery obserwowane przypadki i omówić zaburzenia w zakresie wymiany powietrza w skafandrze, które w trzech z omówionych przypadków doprowadziły do bardzo poważnych zaburzeń stanu zdrowia nurka.

Pierwszy wypadek miał miejsce w czasie ćwiczeń nurkowych na głębokości 40 m. Nurek, który po uprzednim badaniu lekarskim został uznany za zdolnego do nurkowania, rozpoczął nurkowanie przy dobrym samopoczuciu. Schodząc przepisowo do głębokości 30 m nurek był w stałej łączności z obsługą na pokładzie okrętu bazy i czuł się dobrze. Po przejściu głębokości 30 metrów kontakt nagle się urwał i nurek nie odpowiadał na sygnały. Wydobyto go wobec tego w dość szybkim tempie na powierzchnię. Stwierdzono że nurek był nieprzytomny. Skóra twarzy i powiek była silnie obrzęknięta i sina, śluzówki również sine, a spojówki nastrzykane.

Po zdjęciu skafandra stwierdzono że sinica i obrzęk skóry sięgają poprzez szyję do górnej części klatki piersiowej odcinając się równą linią zarówno z przodu jak i z tyłu na klatce piersiowej. Łukowata linia odpowiadała metalowej pelerynce na której osadzony i przyśrubowany jest hełm nurkowy. Oddech nurka był powierzchowny. Mimo stosowania środków pobudzających układ oddechowy i układ krążenia przy równoczesnej kompresji a następnie dekompresji leczniczej w komorze ciśnieniowej chory nie odzyskał przytomności i zmarł na okręcie. Charakterystyczny wygląd - sinica i obrzęk górnej części klatki piersiowej, szyi, twarzy, głowy z wylewami podskórnymi świadczy o zgnieceniu nurka, które występuje podczas upadku nurka.

Niezmiernie ważnym warunkiem dla prawidłowej funkcji ustroju jest wyrównywanie ciśnienia wewnątrz skafandra z zewnętrznym, które uzyskuje się przez uregulowany dopływ powietrza z kompresora w odpowiedzi do zanurzenia się nurka. Właściwa współpraca nurka w regulowaniu zapasu powietrza w skafandrze jest bardzo cenna. Gdy szybkość chodzenia nie odpowiada ilości dostarczonego powietrza, a więc ciśnienie wewnątrz skafandra nie nadąża za wzrostem ciśnienia zewnętrznego, dochodzi do zgniecenia nurka. Sytuacja taka powstaje w czasie upadku nurka na przykład z pokładu wraku na dno morza, względnie w czasie ćwiczeń, gdy nurek nie trzyma się liny spustowej.

W wypadku opisanym nurek spadł z głębokości 30 m na 40 m, a więc ciśnienie zewnętrzne podniosło się z czterech atmosfer do pięciu. Ponieważ skafander nurkowy jest podatny na ucisk z wyjątkiem hełmu i metalowej pelerynki, równomierny ucisk na tułów i kończyny powoduje tłoczenie w kierunku głowy i górnej części tułowia. Ucisk ten odbija się szczególnie na tkankach miękkich i płynach ustrojowych. Stąd obrzęk skóry i tkanki podskórnej głowy, szyi i górnej części klatki piersiowej, jak i narządów znajdujących się w obrębie tej części ciała. Przyrównuje się to do działania bańki ssącej i autorzy francuscy nazywają to "*coup de ventouse*" [7]. Przy znacznej różnicy ciśnień może dojść do rozerwania tkanek, a nawet złamanie obojczyka, żeber i kręgosłupa.

Jeżeli chodzi o stopień obrażeń, to dużą rolę odgrywa skok ciśnienia. W przypadku opisanym skok wynosił 25% ciśnienia pierwotnego, ponieważ podniosło się ono nagle z czterech do pięciu atmosfer, co wystarczyło, a żeby wywołać tak poważne obrażenia. Im skok ciśnienia jest wyższy, tym intensywniejsze są uszkodzenia i stąd zrozumiałe jest, że upadek nurka z powierzchni na głębokości 5 m jest o wiele groźniejsze niż z 20 m do 25 m. Odnosi się to do skafandra klasycznego.

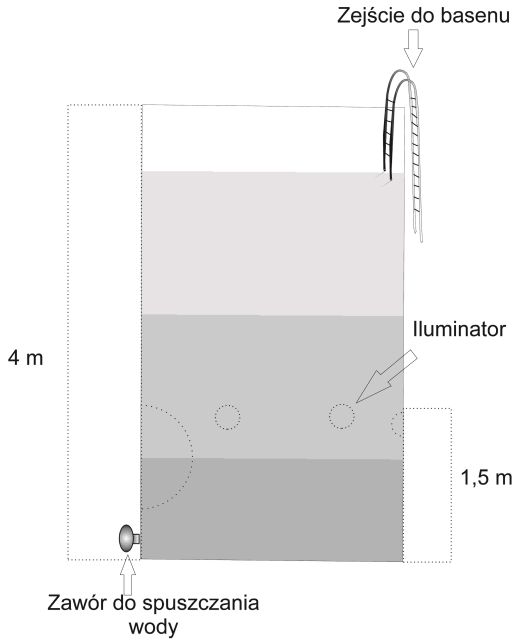
Opis sekcyjny odpowiadał opisanemu mechanizmowi zgniecenia: twarz, skóra głowy, szyi i karku oraz klatki piersiowej w okolicach obojczyków, górnej części mostka, a z tyłu powyżej łopatek, obrzęknięta i zasiniona. Spojówki powiek sine z drobnymi, punkcikowatymi wybroczynkami. W mięśniach skroniowych liczne rozległe wylewy krwawe, płynna ciemnoczerwona krew, naczynia żylne silnie przepełnione krwią, wysklepiają się ponad poziom. Liczne rozsiane na całej powierzchni istoty białej mózgu punkcikowate ciemnoczerwone wybroczyny. Most, móżdżek i rdzeń przedłużony wykazują również punkcikowate wylewy, mięśnie szyi wykazują również liczne ciemno sino czerwone wylewy krwawe. Górna połowa ciała sino czerwona. płuca wypełniają klatkę piersiową - nie zapadają się, duże, niezbyt ciężkie, liczne wypoczynki, płuca przy ucisku trzeszczą; brzegi zaokrąglone, powierzchnia gładka czerwona, przy ucisku zalewa się dość obficie czerwonym, pienistym płynem.

Prawa komora duża, próba wodna wykazuje gaz w prawej komorze, pod nasierdziem i pod opłucną liczne wybroczynki krwawe. Krew płynna.

Jako pierwotne uszkodzenie prowadzące do zejścia śmiertelnego uznano groźne uszkodzenie istoty mózgowej, móżdżku i rdzenia przedłużonego. Ze względu na obraz sekcyjny dodatkowego omówienia wymaga stan płuc, który wskazuje na obrzęk płuc. Należy przyjąć, że powstał on na drodze odruchowej i jest pochodzenia naczyniowo ruchowego. Jest to następstwo spotykane przy urazach czaszki, jak i urazach innej części ciała, zdarza się również po ciężkich zabiegach chirurgicznych [8].

Dodatkowo jako objaw choroby ciśnieniowej na skutek zbyt szybkiego wydobycia nurka, bez stacji ze względu na nie odpowiadanie na sygnały, zjawił się zator gazowy prawego serca, który powstał przy wydobyciu nurka na powierzchnię i w czasie transportu nurka do komory ciśnieniowej na okręcie. Nie jest wykluczone, że powiększył się on do definitywnych rozmiarów i po śmierci, ponieważ dekompresją rządzą prawa fizyczne różnica ciśnień parcjalnych gazów powietrza [1]. Regułą, która obowiązuje przy dekompresji, jest okres czasu wynoszący najwyżej dwie i pół minuty od pojawienia się nurka na powierzchni do rozpoczęcia kompresji w komorze [3]. W tym przypadku mimo szybkiej pomocy nie udało się nurka uratować.

Drugi wypadek miał miejsce u kandydata na nurka ćwiczącego w basenie odkrytym o głębokości 4 m (rys. 1).

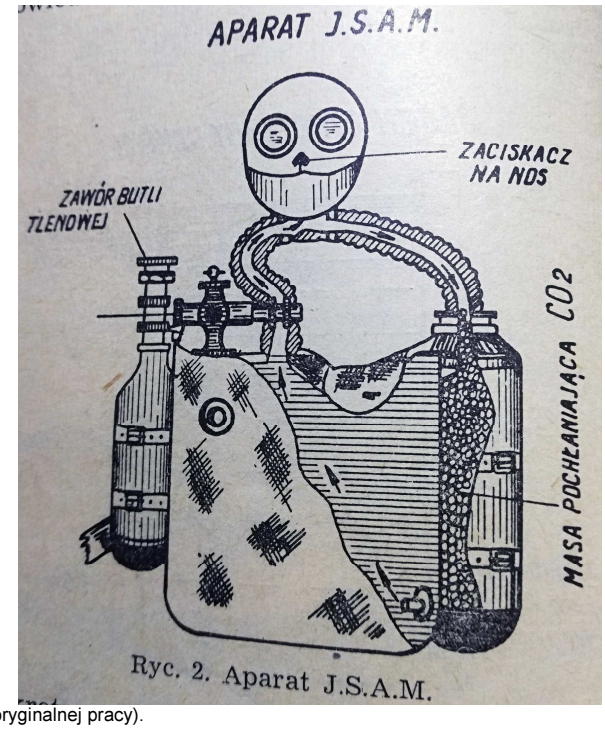


Ryc. 1 Schemat budowy basenu.

Nurek ćwiczył w indywidualnym aparacie ratowniczym typu ISAM. Ćwiczenie, jedno z pierwszych, polegało na założeniu aparatu ratowniczego i przebywaniu w nim przez kilka minut pod wodą.

Indywidualnych aparatów ratowniczych jest kilka typów. Na przykład ISAM, Davisa, Draegera, Mommsen-lung [6]. Używa się ich przy opuszczaniu zatopionego okrętu podwodnego, jak i przy krótkotrwałych pobytach pod wodą dla celów rozpoznawczych. Z aparatów tego typu rozwinęły się aqualungi, tj. aparaty do swobodnego pływania pod wodą.

W tego typu aparatach oddychanie odbywa się przez usta, ponieważ przewód oddechowy jest zakończony ustnikiem, który nurek wkłada między zęby. Wydech, zależnie od typu aparatu, może odbywać się w ten sposób, że strumień wydychanego powietrza trafia do samego aparatu, w którym pochłaniacz oczyszcza powietrze z dwutlenku węgla - mówimy wówczas o aparacie typu zamkniętego, albo też wydech odbywa się przez wentyl na zewnątrz aparatu, jak to ma miejsce w aparatach typu otwartego. W tym ostatnim wypadku pęcherzyki wydychanego powietrza wydostają się na powierzchnię, co nie pozwala na dyskretne przesuwanie się nurka pod wodą. Do pierwszego typu aparatów należy indywidualny aparat ratowniczy ISAM (rys. 2), który posiada maskę ochronną naciągniętą na twarz.



Rys. 2 Aparat J.S.A.M (skan rysunku z oryginalnej pracy).

Sama maska oprócz znaczenia ochronnego nie ma wpływu na proces oddychania. Aparaty te są zaopatrzone w butle tlenowe. Udoskonaleniem w aparatach ISAM jest specjalny przycisk, który wyskakuje z charakterystycznym stukiem, gdy wyczerpuje się zapas tlenu w butli. Jest to sygnał do rozpoczęcia wychodzenia nurka na powierzchnię.

W drugim przypadku na skutek niezbyt szczelnej maski dostało się nieco wody do wnętrza maski, a nurek zakrztusiwszy się uległ panice i zaprzestając oddychać wypłynął na powierzchnię. Gdy wyciągnięto go z basenu był zamroczony, zaczął wymiotować, miał krwotok z nosa i stracił przytomność. Po wydobyciu nurka z basenu zdjęto mu maskę i zastosowano sztuczne oddychanie. Po odzyskaniu przytomności odwieziono nurka do szpitala. W wywiadach chorobowych nurek podaje, że w aparacie miał trudności w oddychaniu, pieczenie spojówek, silne osłabienie i silne bóle głowy.

Stan obecny według historii choroby: spojówki zaczerwienione, wargi i powieki o lekko podbarwieniu sinawym, skargi na bóle głowy - szczególnie w okolicy nosa, oddech krótki, przyspieszony 22 na minutę, szmer oddechowy nad dolnymi partiami płuc osłabiony, wypuk nad tymi partiami płuc przytłumiony, tętno 100 na minutę, RR 120/60 mm Hg., tony serca głuche. Przez tydzień stwierdzano stany podgorączkowe, po czym temperatura ciała wróciła do normy. W rentgenie klatki piersiowej: przymglenie na całej przestrzeni obu pól płucnych - zmniejszona powietrzność płuc, z innych wyników podkreślić należy leukocytozę 13.900, która stopniowo po 10 dniach wróciła do normy. OB 64 po 1 godzinie, 24 po 2 godzinach. Płyn mózgowo rdzeniowy bez zmian. A poza tym badanie neurologiczne w piątym dniu po wypadku stwierdziło objawy szczątkowe po przebytym obrzęku mózgu (silne bóle głowy, niedowład gałęzi ustnej lewego nerwu twarzowego).

Rozpoznano zachłystowe zapalenie płuc i obrzęk mózgu. Po 37 dniach leczenia w szpitalu chory został skierowany do zakładu psychiatrycznego z powodu objawów psychozy reaktywnej.

W tym przypadku na skutek zakrztuszenia się nastąpiło odruchowe zamknięcie głośni i bezdech. Stan taki przy podnoszeniu nurka na powierzchnię spowodował utrzymanie się ciśnienia wewnątrz dróg oddechowych na takim poziomie, na jakim był na głębokości 4 m. Przy wydobyciu nurka na powierzchnię różnica między ciśnieniem panującym wewnątrz dróg oddechowych a ciśnieniem zewnętrznym wynosiła 0,4 atmosfery. W tym przypadku maska indywidualnego aparatu ratowniczego utrudniła jeszcze wyrównywanie ciśnienia. W sumie doprowadziło to do powstania choroby pseudo kesonowej (urazu ciśnieniowego płuc). Już różnica 0, 2 atmosfery między ciśnieniem wewnątrz dróg oddechowych a zewnętrznym wystarcza do powstania uszkodzeń tkanki płucnej. Dochodzi do przekrwienia i wylewów krwawych w drogach oddechowych i w płucach. W naszym przypadku przemawia za tym również obraz radiologiczny płuc. Objawy i leczenie są podobne jak w chorobie kesonowej, jednakże jeżeli przy tej ostatniej pęcherzyki gazu znajdują się w krwiobiegu na skutek uwalniania azotu z krwi, to przy chorobie pseudo kesonowej pęcherzyki powietrza dostają się do krwiobiegu od światła oskrzeli na skutek uszkodzenia naczyń krwionośnych. Dla podkreślenia różnicy w mechanizmie powstania choroby autorzy nazwali ją chorobą pseudo kesonową [5]. Jednym z następstw opisywanych w chorobie pseudo kesonowej jest obrzęk mózgu, który jest oczywiście powikłaniem bardzo poważnym.

Częściej aniżeli u nurków spotykamy się z tą chorobą u marynarzy opuszczających zatopiony okręt podwodny i wychodzących na powierzchnię w indywidualnych aparatach ratowniczych. Niesłuszna obawa, że zapas powietrza albo tlenu może nie wystarczyć na czas wyjścia z głębokości, doprowadza do zatrzymania oddechu, co znów przy zmniejszeniu się ciśnienia w miarę wypływania na powierzchnię powoduje groźne uszkodzenia związane z chorobą pseudo kesonową.

Trzeci wypadek miał miejsce u nurka pracującego na głębokości 30 m w skafandrze klasycznym. Po przepracowaniu pół godziny, a więc po normalnym okresie pobytu na dnie, nurek otrzymał polecenie wyjścia na powierzchnię. W tym momencie bardzo ważne jest umiejętne oderwanie nurka od dna, ponieważ dla uzyskania dodatniej pływalności nurek zatrzymuje nieco więcej powietrza w skafandrze. Jednak ilość ta powinna być tak wyregulowana, ażeby nurek miał możliwość zatrzymania się na przepisanych stacjach, w tym wypadku na głębokości 9 i 6 m. a następnie na głębokości 3 m.

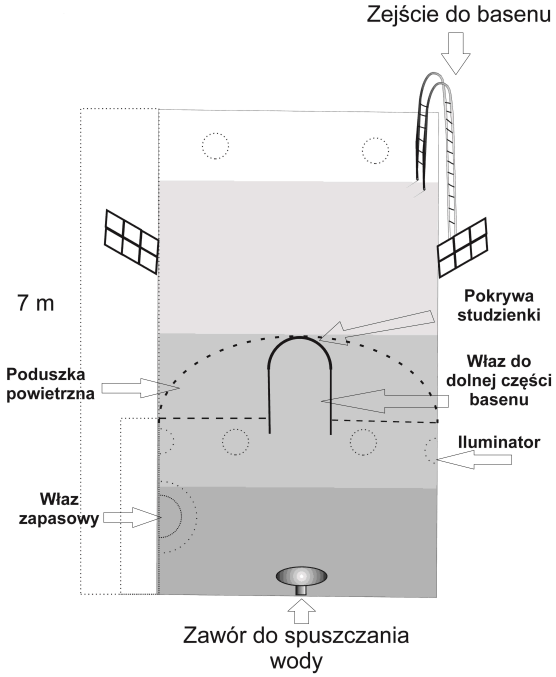
Wskutek wadliwego uregulowania zapasu powietrza, nurek wypłynął na powierzchnię, przy czym skafander był balonowato rozdęty.

W takiej sytuacji nurek zostaje wyrzucony zwykle nogami do góry i nie jest w stanie zgiąć ani rąk, ani nóg, również nie może sięgnąć ręką czy odbić głową wentyla redukującego ciśnienie w skafandrze i dopiero szybka pomoc z zewnątrz może wypuścić nadmiar powietrza, co chroni skafander przed rozerwaniem i następowym utopieniem nurka. Zbyt szybkie wyjście nurka z głębokości bez zachowania w stacji dekompresyjnych, może przyczynić się do wystąpienia choroby kesonowej (ciśnieniowej).

Po wypuszczeniu powietrza nurek został opuszczony do połowy głębokości nurkowania, to znaczy do 15 m, z której zgodnie z tabelą czasu dekompresji został wyprowadzony na powierzchnię bez żadnych ujemnych następstw.

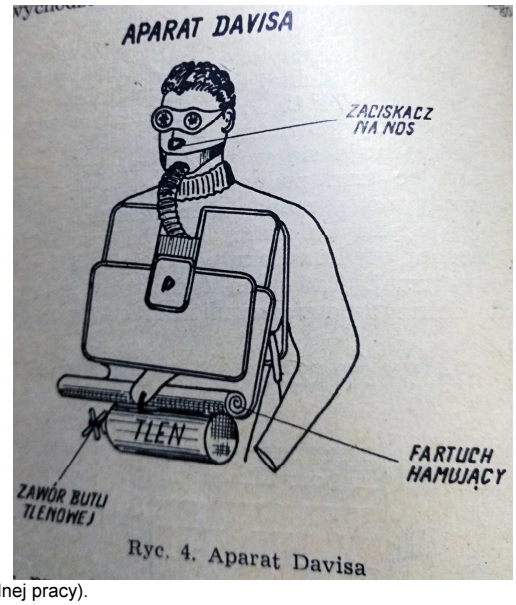
Czwarty przypadek dotyczył 26-letniego instruktora nurkowego, w który cieszył się bardzo dobrą opinią służbową, pełniąc swoje obowiązki przez 5 lat. Nieszczęśliwy wypadek, który skończył się śmiercią instruktora nastąpił w ćwiczebnym basenie nurkowym o głębokości 7 m (rys. 3). Zadaniem instruktora było przygotowanie basenu do ćwiczeń załogi mającej przećwiczyć zadanie opuszczania zatopionego okrętu podwodnego. W celu stworzenia analogicznych warunków jak w pomieszczeniu okrętu, który uległ awarii, zamyka się właz między komorą górną i dolną w basenie i do dolnej komory napuszcza się podgrzanej wody o temperaturze 24 stopni Celsjusza.

Przy zamkniętym włazie w miarę podnoszenia się wody powietrze zostaje stłoczone pod kopułą przegrody i zatrzymuje się w przestrzeni kopuła-kołnierz studzienki, stwarzając tak zwaną poduszkę powietrzną. Następnie napuszcza się wody do górnego pomieszczenia. Przygotowanie basenu do rozpoczęcia ćwiczeń polega na tym, że instruktor schodzi do basenu, otwiera pokrywę studzienki i sprawdza stan poduszki powietrznej. Zadaniem ćwiczącego jest zejście przez studzienkę do dolnego pomieszczenia basenu ćwiczebnego i ustawienie się w takiej pozycji, aby głowa znajdowała się w obrębie poduszki powietrznej.



Ryc. 3 Basen ćwiczebny dwukomorowy.

Ćwiczący, który ma nałożony indywidualny aparat ratowniczy, z chwilą gdy znajdzie się głową w obrębie poduszki powietrznej, zdejmuję aparat i oddycha powietrzem znajdującym się pod kopułą, a następnie nakłada aparat ratowniczy i uchylając się pod krawędzią studzienki wychodzi przez studzienkę do górnego pomieszczenia basenu, wypływając następnie na powierzchnię. Sposób ten jest identyczny z wychodzeniem z zatopionego okrętu podwodnego.



Rys. 4 Aparat Davisa (skan rysunku z oryginalnej pracy).

Instruktor przygotowując basen używał aparatu ratowniczego Davisa [2] (rys. 4.). Jest to tak zwany aparat o otwartym obiegu, przy czym posiada jednolitrową butlę z tlenem będącym pod ciśnieniem 150 atmosfer, który przez wentyl redukcyjny dostaje się do worka oddechowego, a stąd przewodem gumowym do dróg oddechowych. Zasadnicza butla tlenowa jest podwieszona u dołu worka oddechowego. Ponadto w bocznej części worka jest mała butla zapasowa z tlenem, która napełnia natychmiast worek z chwilą odłamania rurki szklanej zatykającej butlę zapasową. Już po nałożeniu aparatu ratowniczego i odkręceniu zaworu głównej butli tlenowej instruktor stwierdził, że jest mało tlenu. Zlekceważył jednak ten stan i zszedł do basenu. Nie było przy tym żadnego zabezpieczenia nurkowego, co było oczywistym naruszeniem obowiązujących przepisów. Po otworzeniu włazu do studzienki nurek wyszedł na powierzchnię, po czym po raz wtóry zanurkował, obecnie już do dolnego pomieszczenia basenu, i tam nagle stracił przytomność.

Jak stwierdzono później, zapasowa butla tlenowa była wkręcona i zdolna do użycia. Obsługa basenu, zaniepokojona tym że nurek nie zjawia się, wypuściła wodę z basenu i znalazła go nieprzytomnego na dnie. Pobyt instruktora pod wodą wynosił 6 minut. Mimo natychmiastowego zastosowania sztucznego oddychania przez marynarzy i szybkiej pomocy lekarskiej, nurka nie udało się przywrócić do życia.

W protokole sekcyjnym stwierdzono (podaję tylko zmiany mające dla wypadku istotne znaczenie):

- Próba na zator powietrzny serca ujemna.
- W obrębie tchawicy i większych oskrzeli nieco treści pokarmowej.
- Przekrwienie narządów wewnętrznych pod nasierdziem i pod spojówka mi, krew płynna w sercu i naczyniach.
- Przyczyna śmierci - uduszenie (brak tlenu).

Wypadek ten jest typowym przykładem asfiksji na skutek braku tlenu. Niedostateczna ilość tlenu powoduje gwałtowną utratę przytomności, bez uprzednich oznak ostrzegawczych. Jak szybko następuje utrata wskazuje dobitnie omawiany przypadek, w którym doświadczony nurek, mający wyrobione odruchy instruktora nurkowego, nie zdążył uruchomić przygotowanej zapasowej butli tlenowej. W takim przypadku, jeżeli pomoc nie nastąpi natychmiast, nurek jest zwykle stracony. Wypadki podobne do opisanego zdarzają się wyjątkowo, kiedy nurek nie postępuje zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Zwykle przy użyciu aparatów tlenowych główny nacisk kładzie się na to, ażeby nurek nie uległ zatruciu tlenem przy oddychaniu na głębokości przekraczającej dopuszczalną, a więc przy ciśnieniu wyższym niż dwie atmosfery, co odpowiada głębokości powyżej 20 m. [4]. Oznakami zatrucia tlenem są objawy podrażnienia układu nerwowego szczególnie zaznaczające się w okresie początkowym.

WNIOSKI

1. Najczęstszą przyczyną nieszczęśliwych wypadków w czasie nurkowania jest nie przestrzeganie obowiązujących przepisów.
2. W zapobieganiu wypadkom duże znaczenie ma dokładne opanowanie przez obsługę pokładową, jak i przez nurka należytej techniki nurkowania.
3. Na dalszym planie stoją wypadki na skutek uszkodzenia aparatu nurkowego.

Z powyższych względów dokładne wyszkolenie nurka, jak i obsługi pokładowej oraz przestrzeganie obowiązujących przepisów, Ponadto dokładne sprawdzanie aparatury wraz z potrzebną nowoczesną aparaturą łączności, jest nieodzownym warunkiem bezpieczeństwa przy pracy.

LITERATURA

1. Ćwiek H., : Prace podwodne, Gdańsk 1951;
2. Davis R.H. : Deep diving and Submarine Operations. London 1952;
3. Dolatkowski A., :O leczeniu chorób nurków. Lekarz wojskowy 1954, numer 10, str. 970;
4. Huszcza A.,: Ciśnienie atmosferyczne i jego działanie na ustrój. Warszawa 1951;
5. Jacobson M.J., : Kesonnaja boleźń . Moskwa 1950;
6. Stelcner H.,: Taucher-Technik. Lubeck 1943;
7. Taillez P., Dumas F., Cousteau J.Y., Aliant J. i Devilla F.,: Polongee en Scaphandre. Paris 1949;
8. Semerau-Siemianowski M.: Choroby Wewnętrzne t.I Warszawa 1951.

Augustyn Dolatkowski
Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni