

Siermontowski P., Kozłowski W., Koktysz R, Olszański R.

**MORFOLOGICZNA PÓIŁOŚCIOWA OCENA DYNAMIKI  
ZMIAN W PŁUCACH PO DOŚWIADCZALNYM URAZIE  
CIŚNIENIOWYM PŁUC.**

**MORPHOLOGICAL SEMIQUANTITATIVE ASSESSMENT OF  
THE CHANGES IN THE LUNGS AFTER EXPERIMENTAL  
PULMONARY BAROTRAUMA**

Streszczenie: Celem pracy była morfologiczna ocena, z zastosowaniem badań pólnościowych, wykładników zmian w drzewie oskrzelowo-pęcherzykowym oraz łożu naczyńniowym płuc po doświadczalnym urazie ciśnieniowym (UCP).

*UCP u królików wywołano w komorze ciśnieniowej dla małych zwierząt, przy wytworzeniu w niej nadciśnienia ok. 200 kP. Na szczycie wdechu uniedrozniano im drogi oddechowe i rozprężano do ciśnienia atmosferycznego, naśladując mechanizm powstawania urazu ciśnieniowego płuc.*

*Grupę porównawczą stanowiły zwierzęta, których nie poddawano żadnym zabiegom.*

*W ocenie zmian morfologicznych (pęcherze rozdęciowe, niedodma, wylewy krwi, pęcherze podopłucnowe) zastosowano trzystopniową skalę nasilenia. Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej.*

*Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że: uraz ciśnieniowy płuc powoduje wzrost przestrzeni powietrznych płuc, szczególnie w okolicy przywnękowej i centralnej oraz, że zmiany te, narastają w czasie trwania doświadczenia. Stwierdzono także, że wylewy krwi do miąższu płuc należą do wykładników morfologicznych UCP i zostają uprzątnięte w okresie ok. trzech tygodni.*

**Słowa kluczowe:** uraz ciśnieniowy płuc, morfologia, badania pólnościowe

*Summary: The aim of the study was morphological assessment with the use of semiquantitative examination, exponents of changes in bronchial - vesicular tree and in pulmonary vascular bed after experimental pressure injury (EPI).*

*EPI was evoked in rabbits in a pressure chamber for small animals at produced hypertension of about 200kP. The airways were blocked on the peak of inspiration and distended to atmospheric pressure initiating the mechanism of pulmonary pressure injury development.*

*The comparative group comprised animals which were not subjected to any procedures. Three-stage scale of intensification was used in the evaluation of morphological changes (emphysematous blebs, atelectasis, blood haemorrhages, subpulmonary blebs).*

*The carried out investigations enabled to state that pulmonary pressure injury causes the increase of pulmonary air space, particularly in the hilus and central area, and that these changes increase in the course of the experiment. Moreover, pulmonary parenchyma haemorrhage belong to EPI morphological exponents and are absorbed within about three weeks.*

**Key words:** experimental pressure injury, morphology, semiquantitative investigation

## **Wstęp**

Przeważająca liczba publikacji dotyczących urazu ciśnieniowego płuc (UCP) u ludzi odnosi się do czynnościowych aspektów UCP, natomiast ocena morfologicznych wykładników UCP należy do rzadkości. Wśród publikacji dotyczących morfologicznych wykładników UCP przeważają doniesienia kazuistyczne, stosunkowo nieliczne [6,8,9,12,15,16], zwłaszcza dotyczące opisu pojedynczych przypadków badań autopsyjnych [11,12,18]

Do bardziej istotnych publikacji, zawierających analizę wykładników morfologicznych UCP u ludzi należą badania Caldera i wsp. z 1985 roku [3]. Wykonali oni 13 autopsji po niepomyślnym zejściu wypadków nurkowych spowodowanych UCP. Wyniki tych autopsji porównali z wynikami badań 19 zawodowych nurków zmarłych z innych niż UCP przyczyn oraz z autopsjami 97 zmarłych nagle lub gwałtownie, bez związku z nurkowaniem. Ponadto w płucach u 6 zmarłych autorzy odtworzyli warunki odpowiadające UCP. Badania te wykazały, że w UCP powstałym zarówno wskutek wypadków nurkowych, jak i w UCP doświadczalnie wykonanym w płucach podczas autopsji, stałymi wykładnikami morfologicznymi były: połączenie blaszek opłucnej oraz pęcherze rozdęciowe płuc. Przy tym należy podkreślić, że uszkodzenia płuc nie zawsze lokalizowały się wokół blizn i zwłóknień mięszu płucnego [3], jak to opisywali inni autorzy [6,17].

## **Cel badań**

Celem badań była ilościowa ocena wykładników zmian morfologicznych płuc po doświadczalnym UCP.

## **Materiał i metody**

Doświadczenie przeprowadzono na królikach 28-34. tygodniowych obu płci, rasy Srokacz Niemiecki, o masie ciała 2240-5250 g. Przed doświadczeniem wykonywano zwierzętom badanie radiologiczne klatki piersiowej celem wykluczenia zmian chorobowych w płucach

Króliki podzielono na dwie grupy: porównawczą [P] i doświadczalną [D].

Badania przeprowadzono w komorze ciśnieniowej dla małych zwierząt, gdzie umieszczano uśpionego i zaintubowanego królika. Ciśnienie powietrza w komorze podnoszono z prędkością 1 ata. na minutę do wartości 3 ata. Na szczycie wdechu, przy pomocy zewnętrznego manipulatora uniedrożniano im drogi oddechowe zamykając rurkę intubacyjną. Niezwłocznie rozpoczynano dekompresję z taką prędkością, aby w czasie 1 minuty osiągnęło wartość ciśnienia atmosferycznego. Postępowanie to, oparte na własnym modelu doświadczalnym naśladuje mechanizm powstawania urazu ciśnieniowego płuc u płetwonurków [23].

Zwierzęta grupy porównawczej przebywały w identycznych jak grupa doświadczalna warunkach hodowlanych. W grupie porównawczej wyodrębniono dwie podgrupy. Pierwszą [P] stanowiło 12 zwierząt, u których nie wykonywano żadnych zabiegów. Druga: kontroli zabiegu [PZ] składała się z 7 zwierząt, u których wykonywano wszystkie czynności doświadczenia jak w grupie D, z wyjątkiem uniedrożnienia dróg oddechowych.

Króliki grup doświadczalnych, które były poddane działaniu urazu ciśnieniowego płuc podzielono na dwie podgrupy w zależności od czasu obserwacji:

- w podgrupie D – 19 zwierząt - uśmiercano bezpośrednio po dekompresji
- w podgrupie DO – 13 zwierząt – prowadzono obserwację przez okres 3 tygodni po przebytych urazie i następnie uśmiercano.

W czasie autopsji, po rozcięciu powłok szyi, wypreparowano a następnie podwiązano w dwóch miejscach tchawicę w celu utrzymania rozprężonych płuc w czasie ich utrwalania. Wypreparowane płuca utrwalono w odpowiednich do ich wymiarów pojemnikach zawierających 10% roztwór zobojętnionej formaliny przez

okres 14 dni w temperaturze 0-4<sup>0</sup> C. Płuca w czasie utrwalania unosiły się swobodnie po powierzchni zanurzone w ok. 40% ich objętości.

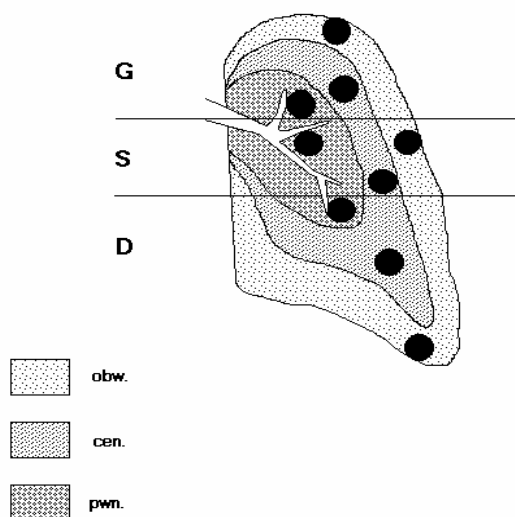
Preparaty mikroskopowe wykonywano metodą parafinową, barwiono hematoksyliną-eozyną.

Spośród skrawków obejmujących przekrój całego płuca, w czasie rutynowej oceny mikroskopowej, wybierano preparaty histologiczne do dalszych badań. Kryteriami doboru preparatów do badań były właściwie utrwalone, w pełni upowietrznione płuca, właściwy przekrój na którym widoczne były: drzewo oskrzelowe, wnęka oraz miąższ płuca przy czym nie stwierdzono w nich obecności zmian patologicznych miąższu (proces zapalny, włóknienie, torbiele itp.) Badania przeprowadzono w mikroskopie świetlnym, przy powiększeniu 40 x.

Sposób doboru pól do zliczenia na przekroju płuca przedstawia ryc. 1.

Płuca dzielono na część górną [g], środkową [s] i dolną [d], oraz na okolicę obwodową [obw], centralną [cen] i przywnękową [pwn].

Ryc. 1. Lokalizacja pól zliczeń na przekroju płuca.



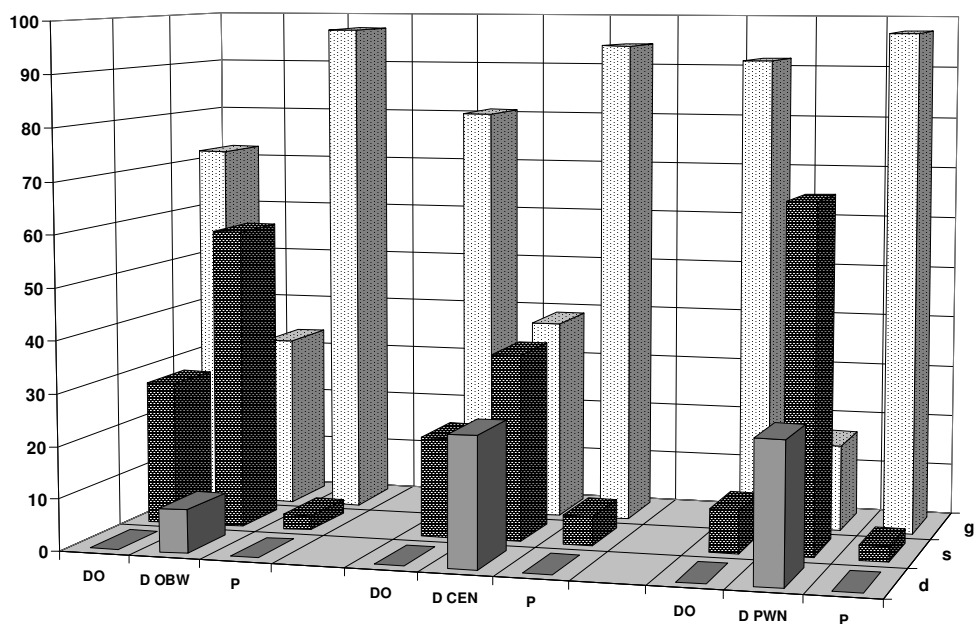
- Ocenie poddano następujące zmiany morfologiczne :
- Pęcherze rozdęciowe 0 – brak, 1 – jeden w polu widzenia [pw], 2 – więcej niż jeden w pw.
  - Niedodma 0 – brak, 1 – zajmuje do 50% pw, 2 – zajmuje powyżej 50% pw
  - Wylewy krwi do podścieliska :  
 Okołoskrzelowe 0 – brak, 1 – wylewy krwi, 2 – krwotoki  
 Okołonaczyniowe " " "  
 W przegrodach " " "
  - Wylewy do światła pęcherzyków 0 – brak, 1 – krwinkotoki, 2 – wylewy krwi
  - Pęcherze podopłucnowe ( pęcherzowate poszerzenia przestrzeni podopłucnowej ) 0 – brak, 1 – obecna  
 miejsce na ryc. 1

Ponieważ wyniki grup P i PZ nie różniły się statystycznie między sobą, w dalszych obliczeniach traktowano je jako jedną grupę.

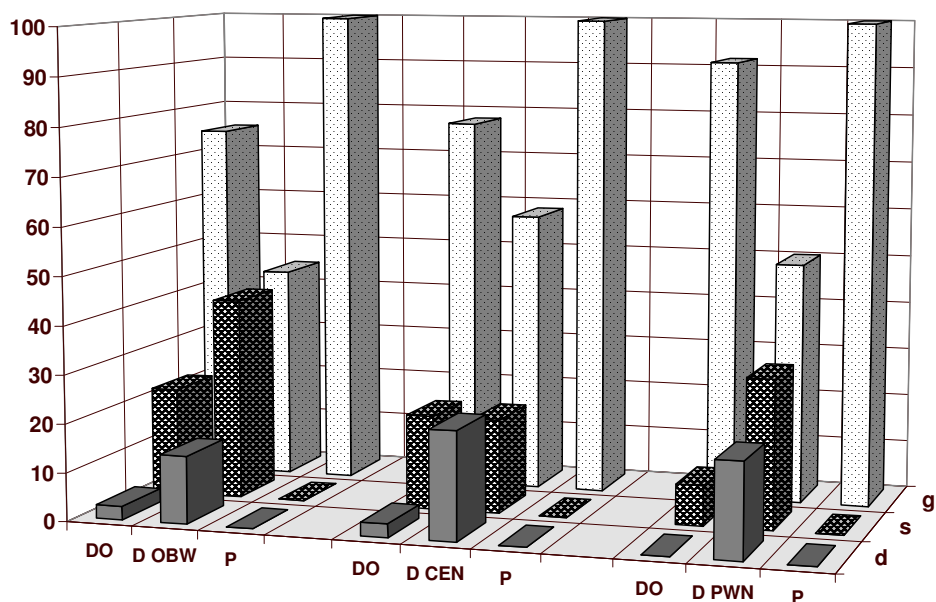
#### Wyniki badań półilościowych

Szczegółowe nasilenie zmian w grupach doświadczalnych w poszczególnych polach pomiarowych zestawiono na ryc. 2 - 5. Oznaczenia wzdłuż osi poziomych odpowiadają lokalizacji pól pomiarowych przedstawionych na ryc. 1.

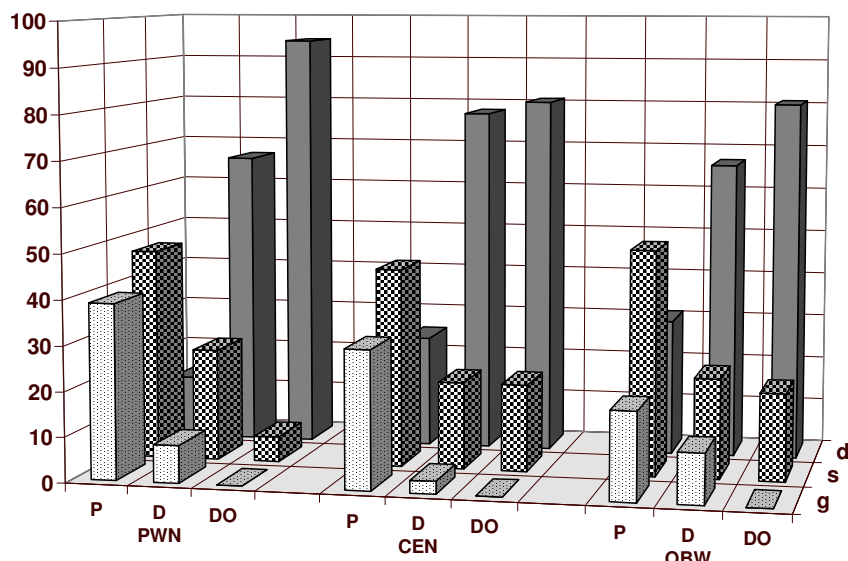
Ryc. 2. Nasilenie krwinkotoków do przegród międzypęcherzykowych.



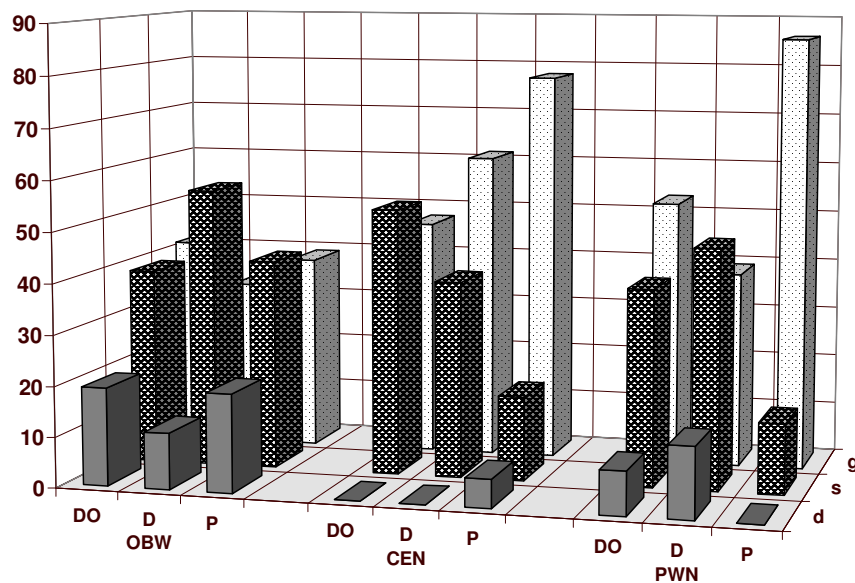
Ryc. 3. Nasilenie krwinkotoków do światła pęcherzyków płucnych.



Ryc. 4. Obecność pęcherzy rozdęciowych.



Ryc. 5. Nasilenie niedodmy.



Z danych zawartych na tych rycinach wynika, że do zmian charakterystycznych dla UCP należą wylewy krwi do mięszu płucnego oraz zmiany rozdęciowe.

U królików grupy D wystąpiły wylewy krwi, które były zlokalizowane głównie w okolicy przywnękowej i/lub podopłucnowej. Wylewy krwi najczęściej lokalizowały się w przegrodach pęcherzykowych (83%) natomiast nieco rzadziej (55%) w świetle pęcherzyków. U królików grupy DO wylewy krwi do płuc stwierdzono jedynie u pojedynczych zwierząt.

Pęcherze rozdęciowe płuc u królików grupy D stwierdzono u większości zwierząt (78%). Należy podkreślić, że wraz z upływem czasu obserwacji liczba królików ze zmianami rozdęciowymi zwiększała się (94%) w grupie DO.

Ogniska niedodmowe miąższu płucnego lokalizowały się analogicznie, jak pola rozdęcia.

### **Omówienie**

Jeżeli drogi oddechowe nie są drożne i wypływ powietrza z płuc z jakiegokolwiek powodu nie jest możliwy, (przeszkoda może wystąpić w drogach oddechowych na różnym poziomie) pojawia się różnica ciśnień pomiędzy wnętrzem płuc a jego otoczeniem. Dochodzi wówczas do wzrostu objętości gazu, a co za tym idzie, rozdęcia płuc. Taki właśnie jest patomechanizm UCP. Przekroczenie granicy wytrzymałości mechanicznej miąższu płucnego w takiej sytuacji prowadzi do jego pęknięcia. Warto w tym miejscu podkreślić, że istotne dla powstawania UCP jest przekroczenie maksymalnej objętości płuc, co zależy również od fazy wydechu a nie tylko od wzrostu ciśnienia w klatce piersiowej [5,10,14,16,17].

Sz szczególnie groźne w tych razach mogą być zwłaszcza małe, powszechnie dostępne, nawet dla niedoświadczonych nurków, głębokości. Zgodnie z prawem Boyle i Mariotte'a, im mniejsza osiągnięta głębokość zanurzenia, tym większe zmiany objętości gazu zawartego w płucach towarzyszą wówczas zmianom ciśnienia otaczającego. Do wywołania UCP, oczywiście po pełnym wdechu pod wodą, wystarcza różnica ciśnień równa 60-80 mmHg, czyli różnica głębokości 2-3 m (0,2 atm.), spotykana przecież w większości powszechnie dostępnych basenów [14]. Przy tym należy podkreślić, że do UCP może dojść jedynie przy nurkowaniu z użyciem aparatu oddechowego.

W szerszym opracowaniu Rouby i wsp. u 86% chorych z UCP stwierdzili poszerzenie przestrzeni powietrznych, głównie drzewa oskrzelowego i pęcherzykowego z powstaniem pseudotorbieli powietrznych i podopłucnowych i/lub śródprzegrodowych [13]. Autorzy ci jednocześnie podkreślili swoistość tych zmian dla UCP. W badaniach własnych także stwierdzono poszerzenie drzewa oskrzelowego i pęcherzykowego u wszystkich zwierząt po UCP. W badaniu rutynowym i półilościowym dominował obraz pęcherzy rozdęciowych. Lokalizowały się one głównie podopłucnowo. Według innych autorów [1] taka lokalizacja pęcherzy rozdęciowych usposabia do równoczesnego powstawania odmy opłucnowej.

Rzadkim powikłaniem UCP jest uszkodzenie znajdujących się w miąższu płucnym naczyń, prowadzące do krwotoku płucnego. Może on także wystąpić w UCP przy wtórnym uszkodzeniu miąższu płucnego, już po przebytych urazie np. spowodowany kaszlem [3,4,7,14,15,17].

W badaniach własnych w grupie D wystąpiły wylewy krwi. Lokalizowały się one w miąższu płuca przeważnie wokół naczyń krwionośnych, oskrzeli oraz pod opłucną. Ponieważ w czasie trzytygodniowej obserwacji zostały zresorbowane niemal całkowicie, można wnosić, że nie stanowią one istotnego problemu w patomorfologii zmian spowodowanych UCP. Natomiast mogą one stanowić wyjaśnienie dla obserwowanego u poszkodowanych krwiopłucia występującego bezpośrednio po UCP [8].

Przeprowadzone badania umożliwiły uchwycenie zespołu powtarzalnych wykładników morfologicznych zmian w doświadczalnym UCP. Z tej analizy wynika, że po przebyciu UCP w ciągu kilku dni lub tygodni, w zależności od rozległości uszkodzenia, zwykle większość wyżej opisanych zmian ustąpiła. Wynaczyniona krew została uprzątnięta przez fagocyty płucne. Wygoiły się ubytki opłucnej płucnej. Należy jednak podkreślić, że rozerwane ściany pęcherzyków płucnych nie mogły zregenerować się, pozostając jako części ściany większych lub mniejszych pęcherzy rozdęciowych, jako trwałe następstwa po przebytych UCP.

### **Wnioski**

1. Uraz ciśnieniowy płuc powoduje wzrost przestrzeni powietrznych płuc, szczególnie w okolicy przywnękowej i centralnej
2. Zmiany te narastają w czasie trwania doświadczenia
3. Wylewy krwi do miąższu płuc należą do wykładników morfologicznych UCP i zostają uprzątnięte w okresie trzech tygodni.

### **Piśmiennictwo:**

1. Bennet P., Elliot D. : The physiology and medicine of diving. Bailliere Tindall. London 1993
2. Calder I.M. : Autopsy and experimental observations on factors leading to barotrauma in man. Undersea Biomed. Res. 1985, 12, 2: 165-182
3. Doboszyński T., Orłowski T. : Podstawy terapii hiperbarycznej. IMMiT WAM. 1977
4. Dolatkowski A., Ulewicz K. : Zarys fizjopatologii nurkowania. PZWL 1973
5. Edmonds C., Lowry C., Pennefather J. : Diving and subaquatic medicine. Diving Medical Centre Publication Sydney Australia 1984
6. Kierznikowicz B., Wolański W., Olszański R. : Uraz ciśnieniowy płuc w przebiegu hipoksji u płetwonurka pod wodą. Roczn. Sł. Zdr. Mar. Woj., 1977-1978, 31-36
7. Kindwall E., Goldmann R. : Hyperbaric Medicine Procedures St. Lukes Medical Center Milwaukee Wisconsin, 1995
8. Krzyżak J. : Ciężki krwotok płucny w przebiegu urazu ciśnieniowego płuc u płetwonurka. PTL., 1986, 41, 34 : 1077-1079
9. Krzyżak J. : Odma śródpiersia u płetwonurka jako powikłanie urazu ciśnieniowego płuc o nietypowym przebiegu. PTL. 1986. 41, 19 : 632-634
10. Łokucijewski B., Teresiński S., Filipek B. : Barotrauma płuc u płetwonurków. Lek. Wojsk. 1971. 6: 577-581
11. Novomesky F., Ehm O. : Fatal air embolism in diving. A morphological approach. Z. Rechtsmed. 1985, 95, (2) : 105-111
12. Olszański R., Filipek B., Siermontowski P.: Dwa przypadki urazu ciśnieniowego płuc o nietypowo długim okresie bezobjawowym. w: Olszański R., Skrzyński S., Kłos R. "Problemy nedycyny i techniki nurkowej" Wyd. Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk 1997
13. Rouby J.J., Lherm T., Martin de Lassale E., Poete P., Bodin L., Finet J.F., Callard P., Viars P. : Histologic aspects of pulmonary barotrauma in critically ill patients with acute respiratory failure. Intensive. Care.Med. 1993, 19, (7) : 383-9
14. Siermontowski P., Kozłowski W.: Uraz ciśnieniowy płuc niebezpieczeństwem nurków płytkich. w: Olszański R., Skrzyński S., Kłos R. "Problemy nedycyny i techniki nurkowej" Wyd. Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk 1997
15. Siermontowski P., Olszański R., Kozłowski W.: Kliniczno - morfologiczne aspekty urazu ciśnieniowego płuc. Med. Sport. 1996, 59: 5 - 12
16. Siermontowski P., Olszański R., Kozłowski W.:Uraz ciśnieniowy płuc - przyczyny i zagrożenia w świetle współczesnych badań. Med. Sport. 1996, 58: 2 - 4.
17. Strauss R. : Diving Medicine. Grune & Stratton. NewYork. 1976
18. Wolf H. K., Moon R.E., Mitchell P.R., Burger P.C. : Barotrauma and air embolism in hyperbaric oxygen therapy. Am. J. Forensic. Med. Pathol. 1990, 11, (2) : 149-53

Recenzent: prof. dr hab. med. Kazimierz Dęga - *Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Gdynia*

Autorzy:

dr med. Piotr Siermontowski, dr hab. med. Romuald Olszański - Zakład Medycyny Medycyny Morskiej i Tropikalnej Wojskowego Instytutu Medycznego. ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 4. 58/726-24-05 zmmit@mw.mil.pl

prof. dr hab. med. Wojciech Kozłowski, dr med. Robert Koktysz.- Zakład Patomorfologii Klinicznej Wojskowego Instytutu Medycznego ul. Szaserów 128 00-909 Warszawa 22/6816645