

**Piotr Siermontowski, Robert Koktysz**

dr med. Piotr Siermontowski  
Zakład Medycyny Morskiej i Tropikalnej  
Wojskowego Instytutu Medycznego  
ul. Grudzińskiego 4  
81-103 Gdynia 3  
tel. st. /58/ 6262405 MON 262405  
e-majl [nurdok@tlen.pl](mailto:nurdok@tlen.pl)

dr med. Robert Koktysz  
Zakład Patomorfologii Wojskowego Instytutu Medycznego  
ul. Szaserów 128  
00-910 Warszawa  
tel. st. /22/ 6816645 MON 816645

**BADANIA POWIETRZNOŚCI PŁUC PO DOŚWIADCZALNYM  
URAZIE CIŚNIENIOWYM**

*Uraz ciśnieniowy płuc (PB), choroba związana z nurkowaniem lub stosowaniem mechanicznej wentylacji jest istotnym, choć mało znanym problemem baropatologii. Jedynym sposobem leczenia zatorowości gazowej w przebiegu PB jest rekompresja i dekompresja lecznicza. W niniejszej pracy chcieliśmy przedstawić mikroskopowe badania zmian powietrzności płuc po PB.*

*W doświadczeniu użyto 36 królików obojga płci podzielonych na grupy porównawczą (P) i doświadczalną. Zwierzęta grupy doświadczalnej były poddawane PB i względu na postępowanie po urazie grupę doświadczalną podzielono na 4 podgrupy. Zwierzęta podgrupy D uśmiercano natychmiast po urazie, podgrupy DL leczono hiperbarią powietrzną i uśmiercano, DO uśmiercano 3 tygodnie po przebyciu urazu i DOL leczono hiperbarią bezpośrednio po urazie a uśmiercano po trzech tygodniach. Badania histologiczne prowadzono na przekrojach czołowych całych płuc, zliczając w polach widzenia w powiększeniu 40 x pęcherzyki płucne i inne zamknięte (patologiczne) przestrzenie powietrzne.*

*Pęcherze rozdęciowe, zlokalizowane głównie podopłucnowo, stwierdzono u większości zwierząt grup D i DL. Ogniska niedodmowe znajdowano u podobnej liczby królików wszystkich grup doświadczalnych. W grupach D i DO powietrzność płuc wzrosła znamienne w stosunku do grupy P, z czego w grupie DO zmiany były bardziej widoczne. Powietrzność płuc w grupach DL i DOL była również znamienne większa niż w P, jednak mniej niż D i DL. Powietrzność DOL osiągnęła wartości najbliższe grupom porównawczym.*

*Konkludując, stwierdzono że PB wywołuje zwiększenie przestrzeni powietrznych płuc i zmiana ta nie leczona narasta wraz z upływem czasu, oraz że . leczenie hiperbaryczne zapobiega częściowo powiększaniu przestrzeni powietrznych płuc po PB.*

**Słowa kluczowe:** uraz ciśnieniowy płuc, morfologia, leczenie hiperbaryczne

## STUDY OF LUNG AERATION BEFORE EXPERIMENTAL PULMONARY BAROTRAUMA

*Pulmonary barotrauma (PB), complicating scuba - diving or mechanical ventilation is the most important problem of modern baropathology. In the treatment of PB the method of choice is oxygen and/or air hyperbarism. In the current paper we would like to present a simple microscopic method of an investigation of the alveolar pulmonary changes after PB.*

*The studies were carried out 36 rabbits of either sex divided into two groups: control (P) experimental (D). The rabbits in group D were subjected to pulmonary barotrauma. The experimental group was divided into four equal subgroups. The rabbits in D subgroup - sacrificed after PB, DL subgroup - were treated with air hyperbarism after PB and then sacrificed, DOL subgroup - treated like DL and then were followed up for 3 weeks, DO followed up for 3 weeks after PB. In histologic sections prepared by the paraffin method in which cross-section of a whole lung were obtained in frontal plane were counted alveole and others closed pathological pulmonary air spaces, which were seen in the field of the objectiv 40x magnification. In the D and DO rabbits lung aeration increased significantly in relation to rabbits in the control groups. It should be stressed that in DO rabbits the increase in aeration of the lung reached the highest values. The values of lung aeration increased significantly in DL and DOL rabbits in relation to control groups, but the Index decreased in relation to D and DO rabbits. It should be stressed that in DOL rabbits the aeration of the lung showed decreasing tendencies in relation to the DL group. Concluding our studies it has to be stressed that pulmonary barotrauma caused a statistically significant increase of the air volume contained in the alveolar tree and the volume increased during three weeks of the follow up. The treatment with air hyperbarism of rabbits after pulmonary barotrauma prevents increase of the alveolar tree volume.*

**Keywords:** *pulmonary barotrauma, morphology, hyperbaric therapy*

### WSTĘP

Uraz ciśnieniowy płuc (PB) jest groźnym dla życia powikłaniem, które wiąże się narażeniem człowieka na zmiany ciśnienia środowiska zewnętrznego lub/i nie stosunek pojemności dróg oddechowych do objętości czynnika oddechowego.

PB jest związany z przebywaniem człowieka w warunkach podwyższonego (nurkowie, leczenie hiperbaryczne) jak i obniżonego (lotnictwo) ciśnienia. W nieco innym mechanizmie może występować na skutek działania powietrznej fali uderzeniowej (wybuchy), natomiast w praktyce klinicznej najczęściej spotykany jest podczas leczenia oddechem wspomaganym lub zastępczym, szczególnie w oddziałach intensywnej opieki i noworodkowych [2, 4, 6, 10, 14, 15].

Powietrze zawarte w płucach, jak i w innych przestrzeniach gazowych organizmu, podczas przechodzenia z ciśnienia wyższego do niższego zwiększa swoją objętość, prowadząc do nagłego poszerzenia struktur histoarchitektonicznych danego narządu. Na tej drodze dochodzi do obrażeń u nurków czy lotników. W oddziałach IT i noworodkowych, mechanizm uszkodzenia płuc związany jest z wentylacją pacjentów stałą objętością mieszaniny oddechowej, przy równocześnie spadającej (proces zapalny, obrzęk, zespół błon szklistych, niedodma z innych przyczyn) pojemności płuc. Przy narażeniu na działanie fali uderzeniowej do obrażeń miększu płucnego dochodzi

na skutek działania rozdzierających sił wywołanych różnicą prędkości rozchodzenia się fali uderzeniowej (prędkość dźwięku) w różnych tkankach. [3, 5, 6, 10, 15, 16]

Do powikłań PB m. in. należą niewydolność krążenia, oddychania, lub też nieodwracalne uszkodzenie układu nerwowego ośrodkowego, do których to zmian dochodzi na dwóch głównych szlakach związków przyczynowo-skutkowych: związanych z odmą płuczną i śródpiersiową oraz zatorowością gazową serca i naczyń tętniczych. [2, 3, 4, 8, 14, 15]. Te ostre i zazwyczaj zagrażające życiu powikłania PB są znacznie lepiej poznane i opisane, niż zmiany zachodzące w płucach, będące następstwami przebiegu PB, niezależnie czy objawy ostre wystąpiły, czy uraz był przebiegiem bezobjawowym.

Jedynym sposobem przyczynowego leczenia zatorowości gazowej jest dekompresja - dekompresja lecznicza, powietrzna lub tlenowa, mało popularna w Polsce, jako sposób terapii stosowana prawie wyłącznie w wypadkach nurkowych. [1, 3, 5, 6]

W klinicznych badaniach u pacjentów oddziałów intensywnej terapii Rouby i wsp. u 86% chorych z PB stwierdzili poszerzenie przestrzeni powietrznych, głównie pod postacią rozdęcia drzewa oskrzelowego i pęcherzykowego, oraz powstawanie pseudotorbieli podopłucnowych i/lub śródprzegrodowych [10]. Autorzy ci uważają, że zmiany te są swoiste dla PB. Zwiększenie prawidłowych i patologicznych przestrzeni powietrznych płuc w PB spostrzegali i inni autorzy [9, 10].

Ze względu na zwiększającą się liczbę osób zagrożonych PB, oraz nieczęstym rozpoznawaniem tego zespołu chorobowego w praktyce klinicznej, koniecznym staje się analiza przynajmniej niektórych morfologicznych wykładników samego urazu, a szczególnie ich ewolucji pod wpływem leczenia i w trakcie rekonwalescencji. Pozwoli to na skuteczniejsze leczenie jego powikłań, szczególnie w przypadkach subklinicznych.

## **CEL PRACY**

Celem pracy była ocena morfologiczna zmian powietrzności płuc, po przebytym urazie ciśnieniowym i ewentualnego wpływu leczenia hiperbarycznego na te zmiany.

## **MATERIAŁ I METODA**

Badania przeprowadzono u 36 królików 28 - 34 tygodniowych obu płci.

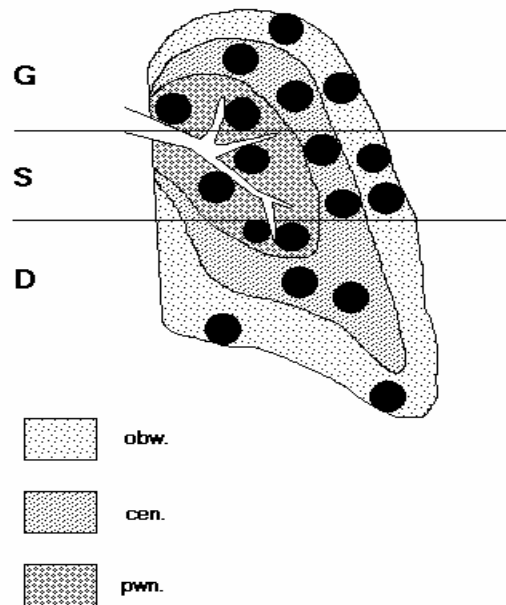
Króliki podzielono na dwie grupy; porównawczą i doświadczalną. W grupie porównawczej wyodrębniono dwie podgrupy. Pierwszą (P) stanowiły zwierzęta, u których nie wykonywano żadnych zabiegów. Druga (PZ) składała się ze zwierząt, u których wykonano wszystkie czynności jak w grupie doświadczalnej, z wyjątkiem samego urazu.

Grupę doświadczalną podzielono na cztery podgrupy; W podgrupie D przeprowadzono uraz ciśnieniowy i natychmiast po nim króliki uśmiercano. Króliki podgrupy DO uśmiercano po 3 tygodniach od urazu. Króliki podgrupy DL po PB leczono hiperbarią powietrzną, po czym uśmiercano. Króliki podgrupy DOL po urazie leczono hiperbarią powietrzną i uśmiercano po 3 tygodniach. Wszystkie grupy doświadczalne liczyły po 6 zwierząt. Szczegółowy opis doświadczenia przedstawiono w osobnej publikacji [13].

Do badania histopatologicznego pobierano pakiet składający się z tchawicy, oskrzeli i płuc. Skrawki tkankowe obejmujące przekrój całego płuca sporządzano metodą parafinową, barwiono hematoksyliną i eozyną [7]. Badań dokonywano w mikroskopie świetlnym, przy powiększeniu 40. krotnym.

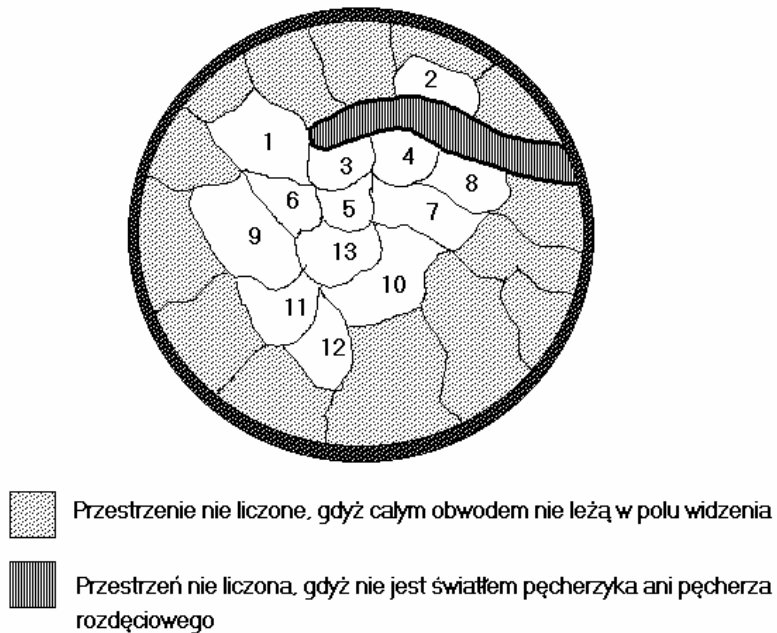
Do oceny wybierano w każdym z przekrojów pola widzenia z okolic (warstw) płuca: podopłucnowej, centralnej i przywędkowej, odpowiednio w górnej, środkowej i

dolnej (podstawnej) części płuca. Razem dawało to 9 pól pomiaru z każdego płuca, 18 od jednego zwierzęcia.



Rys. 1. Sposób doboru pól do pomiarów

Badano liczbę zamkniętych przestrzeni powietrznych, dających się zidentyfikować jako pęcherzyki płucne lub pęcherze rozdęciowe. W zliczeniu nie uwzględniano przestrzeni powietrznych, które całym swoim obwodem nie mieściły się w polu widzenia [16].



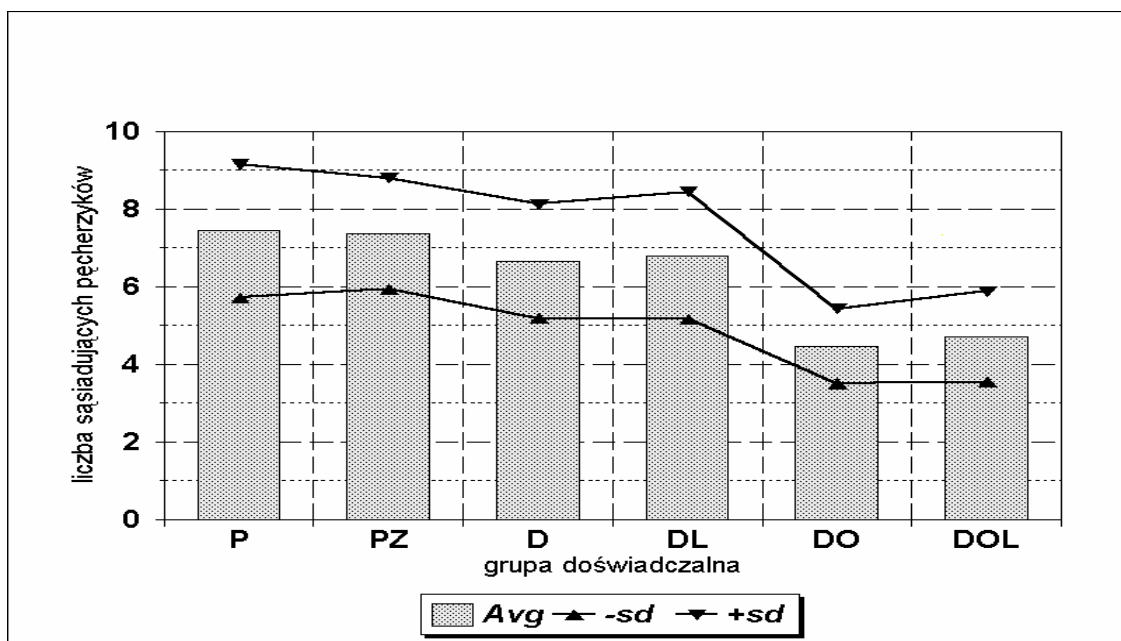
Rys. 2. Sposób doboru przestrzeni powietrznych do zliczania

Wyniki poddano analizie statystycznej (Friedman ANOVA i Mann-Whitney U-test)

## WYNIKI

W badaniu rutynowym pęcherze rozdęciowe stwierdzono u większości zwierząt grup D i DL. Lokalizowały się one głównie podopłucnowo. Natomiast ogniska niedodmowe mięszu płucnego znajdowano u podobnej liczby królików wszystkich grup doświadczalnych. Rozmieszczenie ognisk niedodmy, jak też jej nasilenie nie było zależne od PB.

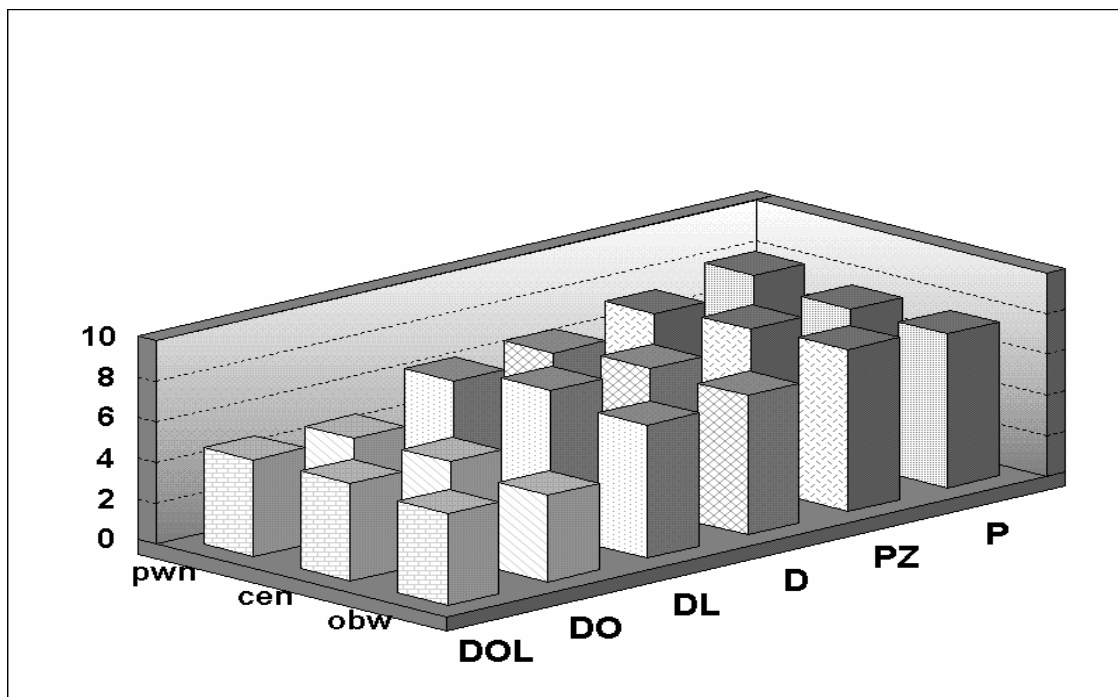
W grupach doświadczalnych (D i DO) powietrzość płuc wzrosła znamienne w stosunku do grup porównawczych, z czego w grupie DO zmiany te były bardziej widoczne.



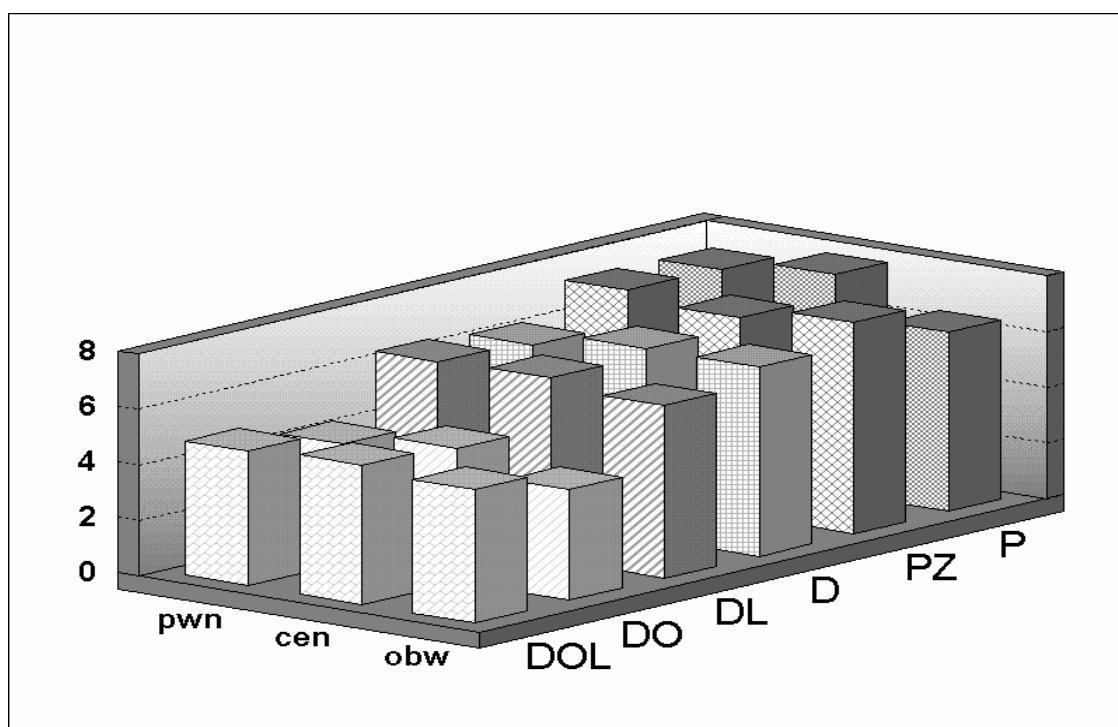
Rys. 3. Zmiany powietrzości płuc w grupach doświadczalnych

Powietrzość płuc w grupach leczonych po urazie (DL i DOL) była również znamienne większa niż w grupach porównawczych, jednak osiągnęła mniejsze wartości w stosunku do grup D i DL. Powietrzość mięszu płucnego w grupie DOL była również mniejsza w porównaniu z grupą DL i osiągnęła wartości najbliższe grupom porównawczym z pośród wszystkich grup doświadczalnych.

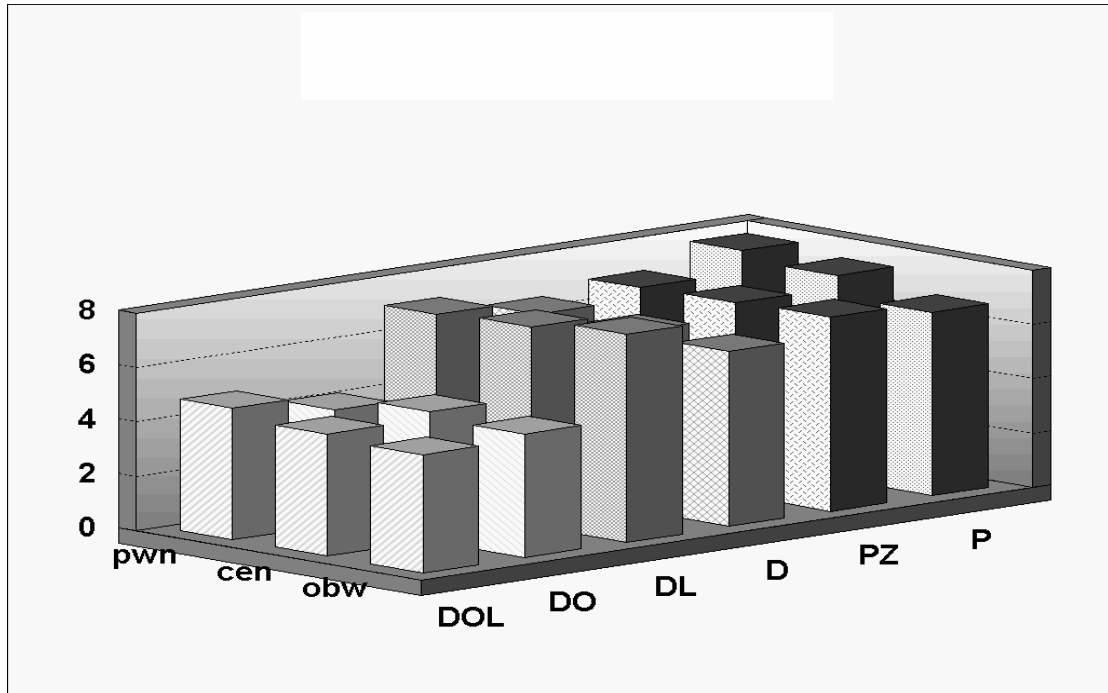
Analizując nasilenie zmian powietrzości płuc w aspekcie ich podziału na część górną, środkową i dolną i strefy: podopłucnową, pośrednią i przywnękową stwierdzono, że największy jej wzrost bezpośrednio po PB (grupa D) obserwowano w części dolnej i przywnękowej płuc. W części dolnej także stwierdzono najlepszy efekt leczniczy rekompresji (DL).



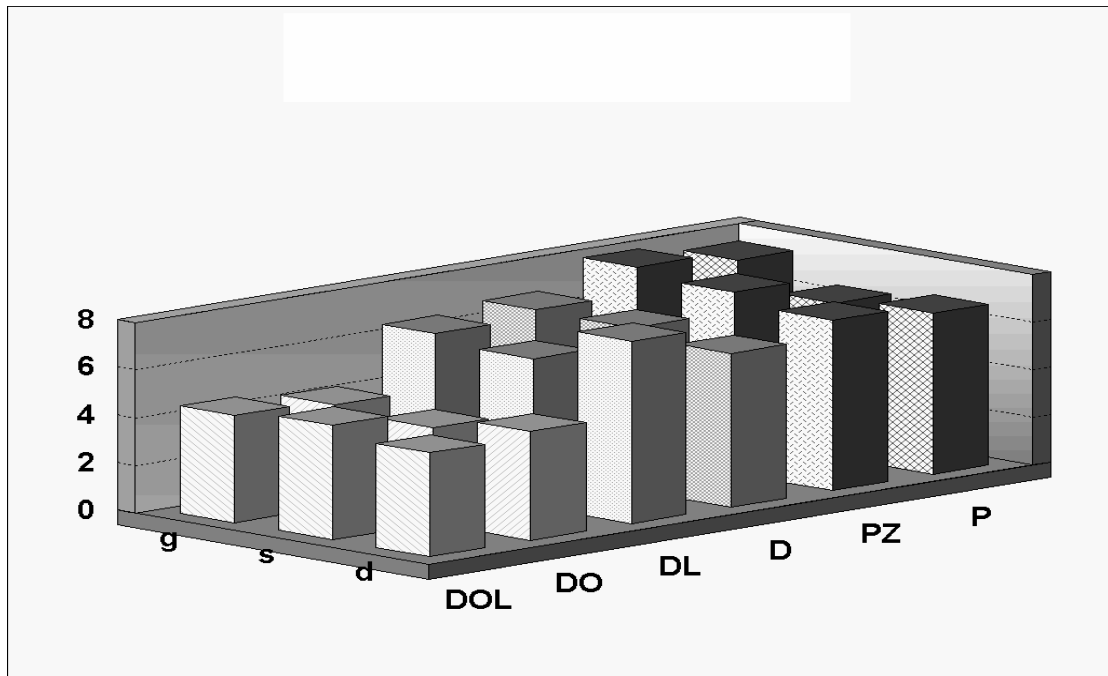
Rys. 4. Zmiany powietrzności górnej części płuc z podziałem na strefy



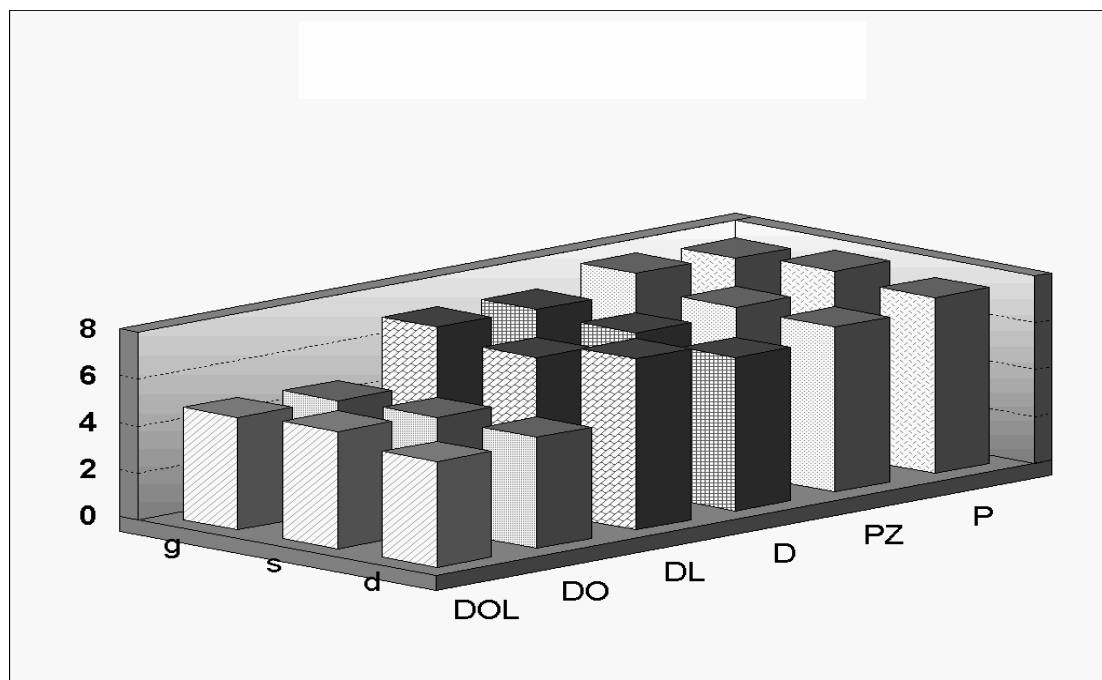
Rys. 5. Zmiany powietrzności środkowej części płuc z podziałem na strefy



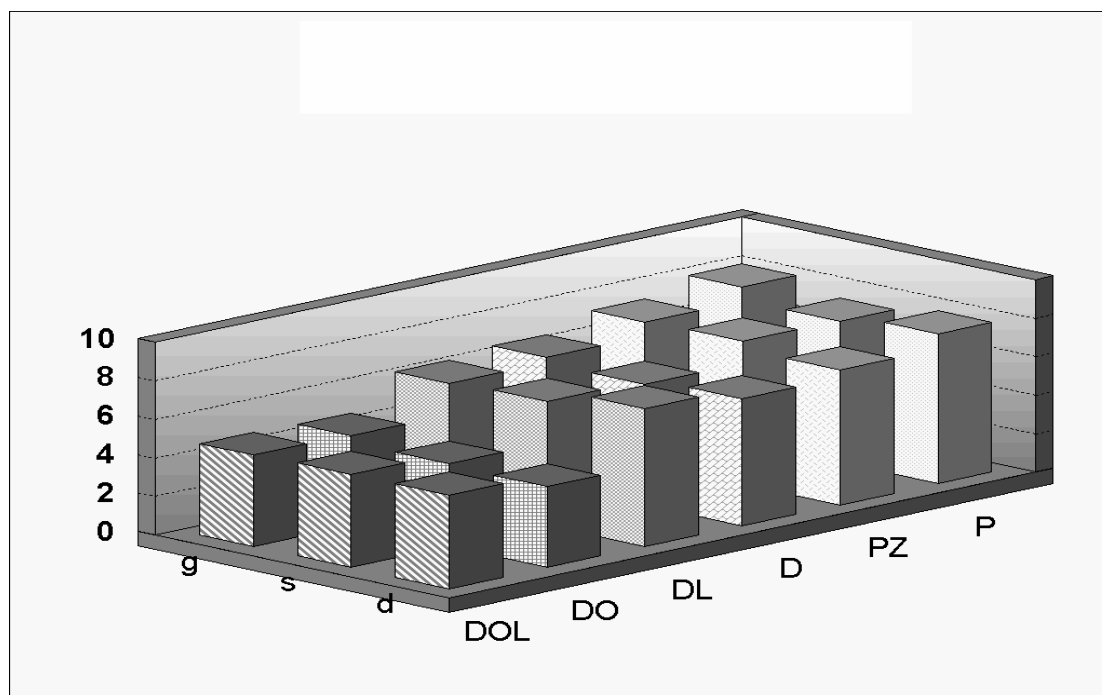
Rys. 6. Zmiany powietrzności dolnej części płuc z podziałem na strefy



Rys. 7. Zmiany powietrzności zewnętrznej strefy płuc z podziałem na części



Rys. 8. Zmiany powietrzności centralnej strefy płuc z podziałem na części



Rys. 9. Zmiany powietrzności przywnękowej strefy płuc z podziałem na części

Natomiast analiza odległych skutków urazu wykazała (DO), że wzrost upowietrzenia mięszu płucnego jest zbliżony we wszystkich okolicach, nieco większy w części środkowej, o tyle znamienne duży efekt leczniczy (DOL) uzyskano w części środkowej i przywnękowej okolicy płuc.



## **OMÓWIENIE**

Zastosowany w badaniach własny model doświadczalny umożliwił prześledzenie zmian powietrzości płuc wywołanych PB [13] i analizę ich nasilenia oraz wpływu leczenia hiperbarycznego na ich ewolucję. Wynika z niej, że po przebyciu PB dochodzi do znacznego wzrostu upowietrznienia płuc (rozdęcia), a pod wpływem leczenia w ciągu trzech tygodni nasilenie tych zmian maleje. Oczywiście w przypadku rozerwania ściany pęcherzyków płucnych nie może dojść do regeneracji i pozostają większe lub mniejsze pęcherze rozdęciowe, stanowiąc trwałe następstwa po przebyciu PB. Zjawisko to tłumaczy między innymi wyraźny wzrost powietrzości miąższu płucnego w grupach doświadczalnych w porównaniu do kontrolnych, niezależnie od stosowanego leczenia.

W półilościowych badaniach własnych także stwierdzono poszerzenie przestrzeni powietrznych drzewa pęcherzykowego u wszystkich zwierząt poddanych PB, przy czym w grupie nie leczonej hiperbarią powietrzną nadmierne upowietrznienie miąższu płucnego narastało w czasie.

Przeprowadzane badania półilościowe płuc po PB są zgodne z badaniami jakościowymi i ilościowymi, opublikowanymi wcześniej [11, 12]. W tych pracach wykazaliśmy, że po PB wzrasta znamienne statystycznie upowietrznienie miąższu płucnego, które, nie leczone rekompresją - dekompresją, nasila się.

Potwierdza to wyniki klinicznych badań Thorsen'a i wsp. Oceniali oni wydolność oddechową płuc u 24 nurków wykonujących głębokie nurkowania. Po czteroletnim okresie przeprowadzili oni ponowne badania u tych samych nurków, stwierdzając obniżenie pojemności oddechowej płuc (cechy rozedmy-rozdęcia). Autorzy ci podkreślali, że wyniki tych badań potwierdziły wcześniej uchwycone zależności między pojemnością oddechową płuc a liczbą nurkowań. Wykonane badania przesiewowe u zawodowych nurków, wskazały upośledzenie pojemności płuc narastające w miarę zwiększania liczby nurkowań, [17] co należy wiązać z bezobjawowymi epizodami PB.

## **WNIOSKI**

1. Zastosowana metoda półilościowa pozwoliła w pełni ocenić zmiany powietrzości płuc po PB.
2. PB wywołuje zwiększenie przestrzeni powietrznych płuc. Zmiana ta nie leczona narasta wraz z upływem czasu doświadczenia.
3. Leczenie hiperbarią (rekompresja - dekompresja) powietrzną zapobiega częściowo powiększaniu przestrzeni powietrznych płuc po PB.

## **PIŚMIENNICTWO**

1. Austauchtabelle für das Tauchen mit Pressluftgeräten. Behandlungstabelle für Caissonkrankheit und Luftembolie. Drägerwerk AG Lübeck 1983r.
2. Bennet P., Elliot D. (red.): The physiology and medicine of diving. Bailliere Tindall, London 1993r.
3. Doboszyński T., Orłowski T.(red.): Podstawy terapii hiperbarycznej. IMMiT WAM. 1977r.
4. Edmonds C., Lowry C., Pennefather J.(red.): Diving and subaquatic medicine. Diving Medical Centre Publication Sydney Australia 1984r.
5. Kindwall E., Goldmann R.(red.): Hyperbaric Medicine Procedures . St. Lukes Medical Center Milwaukee Wisconsin, 1995r.
6. Krzyżak J.: Medycyna dla nurków, KOOPgraf. s. c., Poznań 1998r.

7. Mikel U. V.: Advanced Laboratory Methods in Histology and Pathology. Armed Forces Institute of Pathology Washington DC 1994r.
8. Olszański R., Filipek B., Siermontowski P.: Dwa przypadki urazu ciśnieniowego płuc o nietypowo długim okresie bezobjawowym. W „Problemy Medycyny i Techniki Nurkowej „(Olszański R., Skrzyński S., Kłos R. red.), Okrętownictwo i Żegluga sp. z o.o, Gdańsk 1997r.
9. Philit F. i wsp.: Subpleural air cysts. A complication of barotrauma during mechanical ventilation. 7, (4): 343 – 8; Rev.Mal.Respir. 1990r.
10. Rouby J. i wsp. : Histologic aspects of pulmonary barotrauma in critically ill patients with acute respiratory failure; 19, (7): 383 - 9 Intensive. Care. Med. 1993r.
11. Siermontowski P. i wsp.: Morphological studies of the effect of treatment with air recompression - decompression on pulmonary changes after experimental barotrauma. Proceedings. 233 – 236; International Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine. 1996r.
12. Siermontowski P. i wsp.: Macroscopic and microscopic indices of changes in experimental pulmonary barotrauma. W Diving & Hyperbaric Medicine. (Mekjaviæ B., Tipton M., Eiken O. red.) EUBS Bled Slovenia. 1997r.
13. Siermontowski P. i wsp.: Model doświadczalny urazu ciśnieniowego płuc. 72, 5-6 (III): 293 – 298; Lek.Wojsk., 1996r.
14. Siermontowski P. i wsp.: Morphological assessment of the effect of therapeutic air compression - decompression on pulmonary alveolar tree after experimental barotrauma. 24, s1: 66; Undersea & Hyperbaric Medicine. 1997r.
15. Siermontowski P.: Uraz ciśnieniowy płuc. Biuletyn WAM 1994r; 37, 1/4, 75.
16. Siermontowski P., Kozłowski W.: Uraz ciśnieniowy płuc niebezpieczeństwem nurkowań płytkich. W „Problemy Medycyny i Techniki Nurkowej „(Olszański R., Skrzyński S., Kłos R. red.) Okrętownictwo i Żegluga sp. z o. o, Gdańsk 1997r.
17. Sułkowski S.T.: Morfogenezę doświadczalnej rozedmy płuc. - rozprawa habilitacyjna. Akad. Med. w Białymstoku Wyd. Uczelniane 1994r.
18. Thorsen E. i wsp.: Pulmonary function one and four years after a deep saturation dive. 19, (2): 115-20; Scand.J.Work.Environ.Health. 1993r.

Autorzy:

**kmdr por. dr med. Piotr Siermontowski** – jest pracownikiem naukowym Zakładu Medycyny Morskiej i Tropikalnej Wojskowego Instytutu Medycznego. Specjalista Medycyny Transportu, Medycyny Morskiej i Tropikalnej, Patomorfolog. Przewodniczący Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej. Współzałożyciel PHR i jego pierwszy redaktor naczelny. Biegły sądowy z zakresu medycyny nurkowej, konsultant Wojskowej Służby Zdrowia ds. Medycyny Transportu. Nurek MON, instruktor nurkowania rekreacyjnego CMAS. Główne zainteresowania badawcze: patologia doświadczalna i wykładniki morfologiczne chorób nurkowych.

**ppłk. dr med. Robert Koktysz** – jest pracownikiem naukowym Zakładu Patomorfologii Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie. Specjalista patomorfolog, lekarz medycyny sądowej. Główne zainteresowania badawcze: patologia zmian przedrakowych, patologia przewodów pokarmowych, patologia ran postrzałowych i działania fali uderzeniowej na ciało człowieka.