

## **WPLYW MIESZANIN ODDECHOWYCH NA WYDOLNOŚĆ WYSIŁKOWĄ SZCZURÓW W WARUNKACH HIPERBARII**

Tadeusz Doboszyński<sup>1)</sup>, Bogdan Łokucijewski<sup>1)</sup>, Piotr Siermontowski<sup>1)</sup>, Marek Rejman<sup>2)</sup>,  
Romuald Olszański<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej, Gdynia, Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

<sup>2)</sup> Katedra Pływania AWF Wrocław

### **STRESZCZENIE**

Celem badań było określenie wpływu składu różnych mieszanin oddechowych na wydolność wysiłkową szczurów podczas pływania w warunkach hiperbarii. Badano ją na podstawie wyników testu pływania do wyczerpania w komorze ciśnieniowej. Podczas badań używano powietrza atmosferycznego, mieszaniny azotu i tlenu (N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) w stosunku 89,5/10 oraz 92/7,5, a także mieszaniny argonu i tlenu w stosunku 79,5/20 (Ar/O<sub>2</sub>). Próby badawcze odbywały się w zakresie ciśnień od 0-4 atm. Wyniki sugerują, że wydolność wysiłkowa badanych zwierząt spadała wraz ze wzrostem ciśnienia, niezależnie od stosowanej mieszaniny oddechowej. Z uwagi na fakt, że obciążenie szczurów wysiłkiem w warunkach hiperbarii potęguje niekorzystny wpływ składników mieszanin oddechowych na ich wydolność, celowa wydaje się kontynuacja badań nad reakcjami fizjologicznymi na czynnik oddechowy w postaci mieszanin oddechowych o różnym składzie w ustroju człowieka poddanego obciążeniu wysiłkiem pod wodą.

**Słowa kluczowe:** mieszaniny gazowe, hiperbaria, wysiłek, szczury.

---

### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2017 Vol. 60 Issue 3 pp. 49 - 58

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2017-00014

Strony: 10, rysunki: 2, tabele: 3

page **www** of the periodical: [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Typ artykułu: oryginalny**

**Termin nadesłania: 13.12.2016r.**

**Termin zatwierdzenia do druku: 03.04.2017r.**

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



## WSTĘP

Duże zainteresowanie długotrwałymi pobytami pod wodą, czy to w celach komercyjnych, czy też rekreacyjno-sportowych, rodzi potrzebę badań eksperymentalnych mających na celu określenie czynników limitujących fizjologiczne możliwości człowieka do działania w takich warunkach. Badania w tym obszarze są podejmowane rzadko ze względu na niebezpieczeństwa wynikające z możliwości zatrucia składnikami czynnika oddechowego, oraz inne ograniczenia prowadzenia badań na ludziach. W związku z tym znaczna część badań obszarze podjętej problematyki prowadzona jest na zwierzętach [1,2]. Dlatego, tak jak we wcześniejszych badaniach własnych [3] do badań użyto szczurów, które poddano testowi pływania do wyczerpania. Wilberg [4] tak tłumaczy wartość diagnostyczną testu "...jeżeli substancję o nieznaną charakterystyce podamy myszy, to zmianę czasu pływania do wyczerpania można uznać za wyznacznik niekorzystnego działania tej substancji".

Ten sam autor, a także inni badacze [5,6] uznają, że zastosowanie testu pływania wyczerpującego w badaniach wpływu środowiska na ustrój zwierzęcy jest celowe, bowiem rozrzut w czasach pływania zwierząt o podobnej wadze i danej temperaturze, jest mały [4,6,7,8]. Zatem na podstawie interpretacji tego rodzaju badań można formułować trendy aplikacyjne do wnioskowania na temat reakcji organizmu ludzkiego na dany czynnik oddechowy, bez konieczności narażania go na konsekwencje wynikające z podejmowania maksymalnego wysiłku w niekorzystnych warunkach wysokiego ciśnienia, czy wilgotności i ochłodzenia. A przecież wiadomo, że w warunkach obciążenia maksymalnym wysiłkiem objawy szkodliwości czynników otaczającego środowiska pojawiają się wcześniej, a reakcja organizmu jest silniejsza [1,9,10,11,12,13,14].

## CEL

Celem badań było określenie wpływu składu różnych mieszanin oddechowych na wydolność wysiłkową szczurów podczas pływania w warunkach hiperbarii.

## METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono na 131 szczurach kapturowych, samcach o ciężarze 250-300g. odżywianych w oparciu o standardową dietę hodowlaną i wodę ad libitum.

Test pływania w warunkach hiperbarii przeprowadzano w doświadczalnej komorze ciśnieniowej dla małych zwierząt. Zwierzęta pływały do wyczerpania. Jako kryterium wyczerpania przyjęto ustanie na okres 30 sekund ruchów u zanurzonego zwierzęcia. Budowa komory i poziom wody uniemożliwiały zwierzętom odpoczywanie lub podpieranie się ogonem, czy łapami podczas pływania. Po zakończeniu próby zwierzęta poddawano dekompresji. Procedura zastosowanego eksperymentu uzyskała pozytywną ocenę właściwej Komisji d.s. Etyki w Badaniach Naukowych.

Tab. 1

Właściwości fizyczne mieszanin oddechowych zastosowanych podczas badań.

ciśnienie	głębokość równoważna	Powietrze					Nitrox					Mieszanina argonowa								
		skład %		ciśnienie parcjalne O <sub>2</sub>	ciężar 1 litra	gęstość w odniesieniu do powietrza przy 0 atn	skład %		ciśnienie parcjalne O <sub>2</sub>	ciężar 1 litra	gęstość w odniesieniu do powietrza przy 0 atn	skład %		ciśnienie parcjalne O <sub>2</sub>	ciężar 1 litra	gęstość w odniesieniu do powietrza przy 0 atn				
[atn]	[m]	[O <sub>2</sub> ]	[N <sub>2</sub> ]	[mm Hg]	[g]	[O <sub>2</sub> ]	[N <sub>2</sub> ]	[mm Hg]	[g]		[O <sub>2</sub> ]	[N <sub>2</sub> ]	[mm Hg]	[g]		[O <sub>2</sub> ]	[N <sub>2</sub> ]	[mm Hg]	[g]	
0	powierzchnia	20.95	78.05	159	1.29	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	10m	20.95	78.05	318	2.58	2	10%	89.5%	152	2.53	1.95	20%	79.5%	306	3.42	2.64				
2	20m	20.95	78.05	477	3.87	3	7.5%	92%	171	3.79	2.92	20%	79.5%	459	5.14	3.98				
3	30m	20.95	78.05	636	5.17	4	7.5%	92%	229	5.06	3.91	20%	79.5%	612	6.85	5.29				
4	40m	20.95	78.05	795	6.46	5	7.5%	92%	286	6.33	4.9	20%	79.5%	765	8.56	6.61				

We wszystkich próbach zwierzęta poddawano takiej samej procedurze eksperymentalnej. Po umieszczeniu ich w komorze, po raz pierwszy, przepłukiwano ją znacznym nadmiarem powietrza przez dwie minuty a następnie napełniano ją kolejno mieszaninami gazowymi. Podczas badań stosowano:

- powietrze,
  - nitroks hipooksycyny 10 (mieszanina azotu i tlenu w stosunku 89,5/10) dla doświadczenia przy nadciśnieniu 1 atm,
  - nitroks hipooksycyny 7,5 (mieszanina azotu i tlenu w stosunku 92/7,5) dla doświadczenia przy nadciśnieniu 2, 3 i 4 atm,
  - argoks 20 (mieszaniny argonu i tlenu w stosunku 79,5/20).
- Właściwości fizyczne stosowanych mieszanin podano w tabeli 1.

Łącznie wykonano 131 ekspozycji:

- 52 z użyciem powietrza,
- 43 z użyciem nitroksów,
- i 36 prób z użyciem mieszaniny argonowej.

- Zwierzęta poddawano działaniu podwyższonego ciśnienia:
- w zakresie od 0 do 4 atm dla powietrza,
  - w zakresie od 1 do 4 atm dla pozostałych mieszanin.
- Ciśnienie w komorze podnoszono z prędkością 0,5 atm/min.

Zwierzęta pływały w komorze w zbiorniku wypełnionym wodą o temperaturze 24°C [15]. Podczas wszystkich ekspozycji komorę przepłukiwano daną mieszaniną oddechową w ilości około 10 l/min, i kontrolowano poziom CO<sub>2</sub>. Pozwalało to utrzymać poziom dwutlenku węgla na wystarczająco niskim poziomie by jego stężenie nie miało wpływu na zdolności wysiłkowe zwierząt. W czasie trwania każdego testu z komory pobierano próbki mieszaniny, którą analizowano przy pomocy chromatografu gazowego (Willy Giede G-CH 21 produkcji DDR). Ekstrahowanie użytych gazów /tlenu, azotu i argonu/ przeprowadzano na sicie molekularnym, używając wodoru jako gazu nośnego.

## WYNIKI

Tab. 2

Zestawienie średnich czasów pływania do wyczerpania (w minutach) dla całej grupy badanych zwierząt w danej mieszaninie gazów i w określonych warunkach ciśnienia.

Rodzaj mieszaniny oddechowej												
ciśnienie [atn]	ilość prób	Powietrze			ilość prób	Nitroks			ilość prób	Argoks		
		t ( $\bar{x}$ )	$\sigma$ ( $\bar{x}$ )	$\Sigma$ ( $\bar{x}$ )		t ( $\bar{x}$ )	$\sigma$ ( $\bar{x}$ )	$\Sigma$ ( $\bar{x}$ )		t ( $\bar{x}$ )	$\sigma$ ( $\bar{x}$ )	$\Sigma$ ( $\bar{x}$ )
1	11	39	10.5	3.31	10	33.4	6.9	2.21	9	16.4	1.9	0.64
2	20	20.9	3.9	0.89	13	21.3	6.2	1.72	11	11	2.4	0.73
3	11	17.8	7.7	2.33	10	18.7	8.1	2.57	8	6.1	1.2	0.44
4	10/52	13.6	3.0	0.97	10/43	17.6	4.4	1.39	8/36	5.7	1.6	0.59

Wyniki w tabeli 2 przedstawiają średnie czasy pływania do wyczerpania  $t(\bar{x})$  (w minutach) dla całej grupy badanych zwierząt w danej mieszaninie gazów i w określonych warunkach ciśnienia. W tabeli podano także wartości odchylenia standardowego  $\sigma(\bar{x})$  i błędu standardowego ( $\bar{x}$ ) oraz ilość prób wykonanych w konkretnych warunkach. Z tabeli wynika, że wraz ze wzrostem ciśnienia czasy uzyskane przez zwierzęta podczas pływania do wyczerpania były coraz krótsze bez względu na zastosowany czynnik oddechowy. Przy czym najdłużej zwierzęta pływały w atmosferze powietrza, krócej oddychając mieszaniną azotową a najkrócej w atmosferze mieszaniny argonowej. Istotność statystyczną różnic zanotowano pomiędzy czasami pływania w warunkach oddychania powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym a czasami pływania w warunkach hiperbarii w mieszaninie argonowej i w powietrzu, co przedstawia tabela 3.

Tab. 3

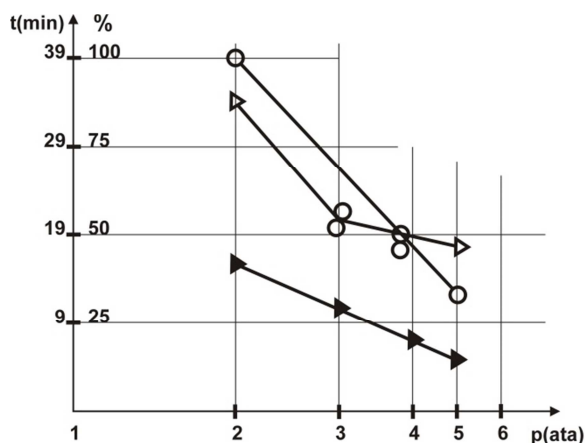
Wyniki testu istotności różnic (t-Studenta) pomiędzy średnimi czasami pływania  $t(\bar{x})$  (w minutach) w całej grupie badanych zwierząt w danej mieszaninie gazów i w określonych warunkach ciśnienia.

powietrze : powietrze	powietrze : mieszanka azotowa	powietrze : mieszanka argonowa
0 atm : 1 atm : 5,26 > t	1 atm : 1 atm : 1,40 > t	1 atm : 1 atm : 6,68 > t
2 atm : 3 atm : 1,26 > t	2 atm : 2 atm : 0,18 > t	2 atm : 2 atm : 8,0 > t
3 atm : 4 atm : 1,66 > t	3 atm : 3 atm : 0,25 > t	3 atm : 3 atm : 4,9 > t
	4 atm : 4 atm : 2,35 > t	4 atm : 4 atm : 6,9 > t

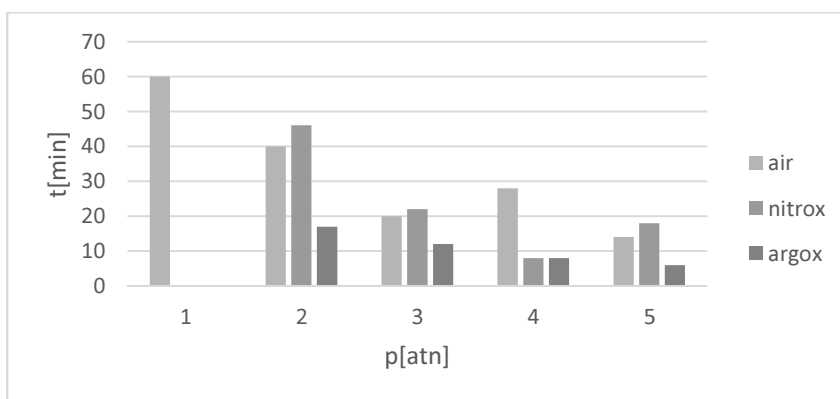
Porównanie różnic w czasie pływania do wyczerpania z różnym czynnikiem oddechowym ze względu na ciśnienie panujące w komorze (Tabela 3), wskazało na istotne statystycznie skrócenie tego czasu w przypadku porównania pływania w warunkach normalnych i w próbie odbywającej się przy ciśnieniu 1 atm. Tendencja wyrażająca się skracaniu czasu pływania w kolejnych próbach przy podwyższonym ciśnieniu (nie potwierdzona statystycznie) miała miejsce w przypadkach porównywania prób wykonywanych w warunkach ciśnienia 2 atm. z. 3 atm. oraz 3 atm. i 4 atm.

Rys. 1 stanowi ilustrację uzyskanych wyników przedstawioną przy pomocy wykresu dla poszczególnych mieszanin. Na osi odciętej zaznaczono ciśnienie w atmosferach absolutnych w skali logarytmicznej, na rzędnej zaznaczono czasy pływania w minutach, zaczynając od 2 atm, co przyjęto jako 100%. Dalsze wartości procentowe oznaczają pogorszenie wyników w hiperbarii w porównaniu z wartością wyjściową.

Rys. 2 przedstawia wartości uzyskanych czasów pływania. Grupa kontrolna szczurów pływających w atmosferze ciśnienia powietrza na poziomie morza zawsze dawała wynik powyżej 60 minut.



Rys. 1 Wyniki uzyskanych czasów pływania w poszczególnych grupach zwierząt dla różnych czynników oddechowych – powietrze, nitrox, argox.



Rys. 2 Długość pływania przy oddychaniu poszczególnymi mieszaninami.

## DYSKUSJA

Podjmując badania przyjęto założenie, że wydolność wysiłkowa zwierząt w warunkach hiperbarii zależy w głównej mierze od sprawności wentylacji [14]. Przy założeniu, że sprawność wentylacji oddechowej człowieka maleje niemal proporcjonalnie do gęstości gazu oddechowego [16,17,18], możliwe jest badanie wpływu na układ oddechowy mieszanin, o różnym składzie. O ile wiadomo, że gęstość gazu przepływającego w drzewie oskrzelowym jest jednym z determinantów oporu w drogach oddechowych [16,17,18], to niewiele prac poświęcono badaniom nad wpływem gęstości czynnika oddechowego na wydolność fizyczną ustroju w warunkach różnego (w tym krańcowego) obciążenia wysiłkiem [19].

Wpływ wzrostu oporów oddechowych na wydolność wysiłkową można badać zmieniając gęstość czynnika oddechowego (składu mieszaniny oddechowej).

Wykorzystano powietrze oraz nitroksy o nieco większej gęstości i mieszaninę argonowo-tlenową o relatywnie największej gęstości. Jak wykazano (Tabela 2) wyczerpanie zwierząt podczas pływania z użyciem mieszaniny argonowej następowało znacznie wcześniej w porównaniu z oddychającymi powietrzem. Taki wynik uzyskano we wszystkich badanych zakresach ciśnienia (1-4 atm). W innych badaniach prowadzonych w warunkach ciśnienia podniesionego do 1 atm [20] także zanotowano pogorszenie sprawności wysiłkowej.

Oddychanie mieszaninami o gęstości większej niż powietrze prowadzi do relatywnego osłabienia sprawności wentylacji dróg oddechowych i w konsekwencji do obniżenia możliwości wysiłkowych ustroju [1].

Wysiłek o dużej intensywności, w takich warunkach rodzi groźbę retencji CO<sub>2</sub>, kwasicy oddechowej i prowadzi do wyczerpania ustroju, natomiast kontynuowanie wysiłku o umiarkowanej intensywności umożliwia zachowanie homeostazy [19]. Można przyjąć, że bodźce wysiłkowe, którym poddawano zwierzęta podczas niniejszego eksperymentu miały charakter ponadprogowy i szczury pozbawione zdolności regulacji zachowania w ekstremalnych warunkach działania, dość szybko ulegały krańcowemu wyczerpaniu. Dla porównania czas pływania pod ciśnieniem 4 atm z oddychaniem powietrzem wynosił 13 min a tylko 5 min gdy czynnikiem oddechowym była mieszanina argonowa (Tabela 2).

W niniejszych badaniach nie uwzględniono wpływu gazów obojętnych na ustrój zwierząt. Znane są zależności między fizycznymi cechami tych gazów a efektami ich biologicznego działania. [7,20,21,22]. Na podstawie wyników niniejszych badań wydaje się, że w zakresie stosowanych ciśnień /do 4 atm/ cechy narkotyczne, jak i toksyczność stosowanych mieszanin nie ujawniły się. Chociaż krótszy czas pływania zwierząt oddychających nitroksami, gdzie zawartość tlenu obniżono do 7,5 czy 10% w porównaniu do czasu pływania podczas oddychania powietrzem (w zakresie ciśnień 2-4 atm) (Tabela 2), mógłby świadczyć o korzystnym wpływie wysokich pO<sub>2</sub> w hiperbarii.

Wyniki, które są dostępne w obszarze badań [1,10,16,17,18,20,23,24,25,26,27] pozwalają jedynie na selektywne odniesienia do wyników niniejszego eksperymentu, dlatego generalnie obniżona wydolność wysiłkowa zwierząt w warunkach prowadzonego eksperymentu jest większa niż w cytowanych pracach. Można to tłumaczyć szczególnie niekorzystnymi warunkami w jakich odbywały się badania (wysoka wilgotność, wysiłek do wyczerpania, oziębienie, stres) które jednak były bardzo zbliżone do warunków pracy nurków.

U tych zwierząt nie stwierdzono odchylenia  $pO_2$  i  $pCO_2$  we krwi, natomiast pojawiły się subiektywne oznaki narkozy azotowej. Badania Bennett'a [20] wykonywane przy ciśnieniu przy 2,4 atm, sugerowały natomiast, największy przyrost  $pCO_2$  w mózgu podczas oddychania mieszaniną argonową. Poziom  $pCO_2$ , gdy czynnikiem oddechowym była mieszanina azotowa był tylko nieznacznie większy niż podczas oddychania czystym tlenem. Wynik uzyskany w próbach oddychania mieszaniną argonową autorzy wiąże z zaburzeniami w mechanice oddychania, powstającymi w wyniku dużej gęstości tej mieszaniny. W naszych badaniach mieszanina  $Ar/O_2$  przy 4 atm była 6,61 razy gęstsza od powietrza, i wydaje się, że w warunkach aktywności fizycznej w dłuższym okresie czasu gęstość taka prowadziłaby do niewydolności oddechowej [5,7,21,22].

Wprawdzie badania nad czynnikami limitującymi pobyt i przetrwanie istot żywych w warunkach hiperbarii nie odpowiedziały jeszcze na wiele istotnych pytań, to jednak wydaje się, że obecnie widoczna tendencja do badań toksycznego działania składników mieszanin oddechowych powinna ustąpić części pola badawczego eksploracji obszaru wpływu gęstości na zdolności wysiłkowe organizmów żywych.

## WNIOSKI

1. Zdolności wysiłkowe badanych zwierząt obniżały się wraz ze wzrostem ciśnienia, na które były eksponowane, niezależnie od stosowanej mieszaniny oddechowej.
2. Oddychanie mieszaniną argonową obniżało zdolności wysiłkowych badanych zwierząt znacząco wyraźniej w porównaniu z oddychaniem mieszaniną azotową i powietrzem.
3. Wysiłek fizyczny o maksymalnej intensywności wykonywany przez szczury w warunkach hiperbarii potęguje niekorzystne działanie na ustrój właściwości fizycznych składników mieszanin oddechowych używanych podczas nurkowań

## BIBLIOGRAFIA

1. Doboszyński T., Łokucijewski B. The Effect of Hyperbaric Oxygen Therapy on the Level of Lipid Peroxides in Rat Brains. *Polish Hyperbaric Research* 2017, 1(58): 63–68. DOI: 10.1515/phr-2017-0005;
2. Matsumoto K., Ishihara K., Tanaka K., Inoue K., Fushiki T. An adjustable-current Swimming Pool for the Evaluation of Endurance Capacity of Mice. *Journal of Applied Physiology* 1996, 81(4): 1843-1849;
3. Siermontowski P., Pleskacz K., Pedrycz A., Olszański R., Kulig M.: Morphological changes in pulmonary parenchyma following ventilation with 20% heliox a tan overpressure of 0,5 MPa. *Polish Hyperbaric Research* 2013, 4 (45), 37 – 52. DOI: 10.13006/PHR. 45.3;
4. Wilber C.G., Hunn J.B. Swimming of albino mice. *J.Appl.Physiol.* 1960,15, 704-5;
5. Kay H., Birren J.E. Swimming speed of the albino rat.II. Fatigue, practice, and drug effects on age and sex differences. *J.Geront.*, 1958, 13.378-85;
6. Wilber C.G. Some factors which are correlated with swimming capa city In Guinea pigs. *J.Appl. Physiol.* 1959, 14,199-203;
7. Carpenter F.G. Anesthetic actian of inert and unreactive gases on intact animals and isolated tissues. *Am. J.Physiol.* 1954, 178,505-9;
8. McArdle W.D., Moutoye H.J. Reliability of exhaustive Swimming in the laboratory rat. *J.Appl.Physiol.* 1966,21,1431-4;
9. Jarrett A.S. Alveoral carbon dioxide tension at increased ambient pressures. *J.Appl. Physiol.* 1966, 21,158-62;
10. Ryłowa M.Ł. Metody issledowania chroniczeskogo diejstwe wrodnych faktorow sredy w eksperymencie. *Medicins, Moskwa*, 1964;
11. Terblanche, S. E. The Effects of Exhaustive Exercise on the Activity Levels of Catalase in Various Tissues of Male and Female Rats. *Cell Biology International*, 1999, 23: 749–753. DOI: 10.1006/cbir.1999.0442;
12. Lima F.D., Stamm D.N., Della-Pace I.D., Dobrachinski F., de Carvalho N.R., et al. Swimming Training Induces Liver Mitochondrial Adaptations to Oxidative Stress in Rats Submitted to Repeated Exhaustive Swimming Bouts. *PLoS ONE* 2013, 8(2): e55668. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0055668> DOI: 10.1371/journal.pone.0055668;
13. Malaguti M., Angeloni C., Garatachea N., Baldini M., Leoncini E., et al. Sulforaphane treatment protects skeletal muscle against damage induced by exhaustive exercise in rats. *Journal of Applied Physiology* 2009, 107: 1028–1036. DOI: 10.1152/jappphysiol.00293.2009;
14. Z. Radák Z., Nakamura A., Nakamoto H., Asano k., Ohno H., Goto S. A period of anaerobic exercise increases the accumulation of reactive carbonyl derivatives in the lungs of rats *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* 1998, 435(3): 439–441. DOI: 10.1007/s004240050537;
15. Baker M.A., Harvath S.M. Influence of water temperature on oxygen uptake by swimming rats. *J.Appl. Physiol.* 1964 19, 1215 - 18;
16. Buhlmann A.A. La physiologie respiratoire au cours de la plongee sous – marine. *J.Suisse Med.v.* 1961, 91.774-80;
17. Maio D.A., Farki L.E. Effect of gas density on mechanics of breathing. *J.Appl. Physiol.* 1967,232.687-93;
18. Mead J. Resistance to breathing at increased ambient pressures. *Natl.Acad.Sci.- Natl.Res.Council, Washington*,1955, 112-20;
19. Selye H. *Stress in Health and Disease*, 1st Edition, Butterworth-Heinemann, Boston London. 1976;
20. Siermontowski P., Pedrycz A., Konarski M., Kaczerska D., van Damme – Ostapowicz K., Olszański R., Boratyński Z.: Development of pulmonary oxygen toxicity in rats after hyperoxic exposure. *Bull. Vet. Inst. Pulawy* 2014, 58, 305-310. DOI: 10.2478/bvip-2014-0047;
21. Cook G.A. Argon, helium and rare gases. *Interscienoe Publ.*, New York,1961;
22. Schreiner H.R., Gregoire R.C., Lawrie J.A. New biological effect of gases of helium group. *Science*, 1962, 136,653-4;
23. Lord G.P.,Bond G.F., Schaefer K.E. Breathing under high ambiente pressure. *J.Appl. Physiol.* 1966,21,1833-3;
24. Maclunis J., Dickson J.G. La oxygen atmosphere at pressure to 122 atmospheres. *J.Appl.Physiol.* 1967, 22,694-8;
25. Wood W.B., LEVE I.h.-, "Ventilatory dynamics under hyperbaric states". *Arch. Environ. Health.* 7,47-59,1963;
26. Alessio H.,M., Hagerman A.,E., Fulkerson B.,K., Ambrose J., Rice R.,E., et al. Generation of reactive oxygen species after exhaustive aerobic and isometric exercise. *Medicine and Science in Sports Exercise* 2000, 32: 1576–1581;
27. Peng Z., Du J., Sun X. Changes of hypoxic tolerance status in mice induced by hyperbaric oxygen exposure. *China Occupational Medicine*, 2006, 1: 55-61. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6486.2006.01.003;
28. Sies H. Oxidative stress: introductory remarks. [In] Sies H. (ed.) *Oxidative Stress*. Academic Press: London. 1985;

**dr hab. med. Piotr Siermontowski**  
Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej, Gdynia,  
Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie  
ul. Grudzińskiego 4  
81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18  
nurdok@tlen.p

