



Nr 3 (44)2013

ISSN 1734-7009

e-ISSN 2084 - 0535

kwartalnik

wrzesień 2013 rok

Polish – English

Bilingual Publication

Polish Hyperbaric Research

**Czasopismo
Polskiego Towarzystwa Medycyny
i Techniki Hiperbarycznej**

**Redaguje Zespół:
Editorial Board:**

Redaktor Naczelny
Editor-in-Chief

Piotr Siermontowski

e-mail: naczelnypHR@10g.pl

Redaktor Prowadzący/Korekta
Executive/Technical Editor

Małgorzata Samborska

e-mail:

phr@hyperbarex.nazwa.pl

tel. +48/533312117

Tłumaczenia

Translator

Anna

Wójtowicz

Redaktor tematyczny

Nauki Techniczne

Section Editor

Technical Sciences

dr hab. inż. Ryszard Kłós

RedTech@wp.pl

Redaktor tematyczny

Nauki Medyczne

Section Editor

Medical Sciences

prof. dr hab. med.

Romuald Olszański

RedMedPHR@wp.eu

Redaktorzy językowi

Language Editors

Stephen Burke (English)

Elena Lakomov (Русский)

Redaktor statystyczny

Statistical Editor

Adam Olejnik

www.phr.net.pl

Kontakt z redakcją:

81 – 103 Gdynia 3

ul. Grudzińskiego 4 skr. pocz. 18

tel. +48/533312117

fax. +48/ 58 626 22 30

e-mail:

phr@hyperbarex.nazwa.pl

POLISH HYPERBARIC RESEARCH

ISSN 1734 – 7009

EISSN 2084 – 0535

PolHypRes jest indeksowane w bazach:

- BazTech
- Index Copernicus
- ARIANA
- GBL



Oświadczenia Redakcji **Statement from the Editor**

Wersją pierwotną Polish Hyperbaric Research jest wersja drukowana.
Polish Hyperbaric Research is originally distributed in print.

Informacje dla Autorów dostępne na stronie internetowej www.phr.net.pl.
Information for Authors available at www.phr.net.pl.

Artykuły nadsyłane do druku recenzowane są zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Nauki, zgodnie z przyznaną liczbą 5 punktów za publikację oraz punktacją Index Copernicus 5,56. Szczegóły procedury recenzowania na stronie internetowej www.phr.net.pl.
Submitted articles are peer-reviewed in accordance with the Ministry of Science and Higher Education guidelines, according to the attributed number 5 points for publication and scoring by Index Copernicus with 5,56 points. Detailed information on review procedures can be found at www.phr.net.pl.

Dbając o rzetelność naukową redakcja stosuje procedury przeciwdziałania zjawiskom „ghostwriting” i „guest authorship”. Ich zachowanie przez Autorów jest warunkiem publikacji artykułu. Szczegóły procedur na stronie internetowej www.phr.net.pl.
The editorial team, concerned about the journal's academic reliability, implements procedures preventing ghostwriting and guest authorship, compliance with which conditions publishing articles. Detailed information on exact procedures can be found at www.phr.net.pl.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej 81-103 Gdynia 3
ul. Grudzińskiego 4 box. 18 tel. +48/533312117, fax. +48/586262230 e.mail: phr@phr.net.pl
Publisher: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society 81-103 Gdynia 3,
ul. Grudzińskiego 4 box. 18 tel. +48/533312117, fax. +48/586262230 email: phr@phr.net.pl

© Copyright by Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, Gdynia 2013

Pewne prawa zastrzeżone. Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons BY-SA-NC. 3.0 Polska. Zasady własności prawnej na stronie internetowej www.phr.net.pl
Some rights reserved. The text of the publication is available within the license Creative Commons BY-SA-NC. 3.0 Poland. The principles concerned with legal property are stipulated at www.phr.net.pl

Instytucja finansująca; Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej
Sponsoring: Polish Hyperbaric Medicine & Technology Society

Rada Naukowa

prof. dr hab. med. Andrzej Buczyński, prof. med. Ugo Carraro (Włochy), dr hab. med. Grzegorz Cieślar, prof. dr hab. inż. Adam Charchalis, prof. dr hab. med. Krzysztof Chomiczewski, prof. dr Claude Cuvelier (Belgia), dr John T. Fitter (Australia), prof. dr hab. inż. Franciszek Grabski, dr hab. inż. Tadeusz Graczyk, prof. med. Siergiej Gulyar (Ukraina), dr hab. inż. Jerzy Garus, prof. dr hab. med. Józef Kędziora, prof. dr hab. inż. Zbigniew Korczewski, dr hab. inż. Grzegorz Kowalski, prof. dr hab. Arvils Lielvards (Łotwa), prof. Sam Mesiano (USA), prof. dr hab. Igor Murawow (Ukraina), prof. dr hab. n. med. Krzysztof Narkiewicz, dr hab. med. Agnieszka Pedrycz, prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny, prof. Manny Radomski (Kanada), prof. dr hab. n. med. Aleksander Sieroń, prof. Roger Smith (Australia), dr hab. farm. Paweł Zarzycki prof. nadzw. PK

Editorial Board

prof Andrzej Buczyński Ph.D., M.D.; prof Ugo Carraro M.D. (Italy), Grzegorz Cieślar Ph.D. M.D.; prof Adam Charchalis Ph.D., Eng.; prof Krzysztof Chomiczewski Ph.D., M.D.; prof Claude Cuvelier Ph.D. (Belgium); John T. Fitter Ph.D. (Australia); prof Franciszek Grabski Ph.D., Eng.; Tadeusz Graczyk Ph.D., Eng.; prof Siergiej Gulyar M.D. (Ukraine); Jerzy Garus Ph.D.; prof Józef Kędziora Ph.D., M.D.; prof Zbigniew Korczewski Ph.D., Eng.; Grzegorz Kowalski Ph.D.; prof Arvils Lielvards Ph.D. (Latvia); prof Sam Mesiano (USA); prof Igor Murawow Ph.D. (Ukraine); prof Krzysztof Narkiewicz P h . D . , M . D . ; associate prof Agnieszka Pedrycz Ph.D., M.D.; prof Leszek Piaseczny Ph.D., Eng.; prof Manny Radomski (Canada); prof Aleksander Sieroń Ph.D., M.D.; prof Roger Smith (Australia); associate prof Paweł Zarzycki Ph.D.

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2013 NUMER 3 (44)

SPIS TREŚCI



MEDYCYNA

- P. Siermontowski, W. Kozłowski, A. Pedrycz**
Badania ilościowe korelacji mikroskopowych wykładników rozdęcia płuc zwierząt doświadczalnych z ich wagą po jednokrotnej ekspozycji hiperbarycznej..... str. 7

TECHNIKA

- R. Kłós**
Nurkowanie satutowane z wykorzystaniem helioksu. Część II..... str. 23
- M. Wierciński**
Polska aktywność naukowo-badawcza w Europejskiej Agencji Obrony w obszarze technologii walki minowej..... str. 65

MISCELANEA

- W. Wiesner, M. Niedziela**
Skuteczność wykonania zadania pod wodą w sytuacji egzaminacyjnej..... str. 79
- M. Kowalczyk, W. Pesta, K. Zinkiewicz, A. Pedrycz, K. Paśnik, P. Siermontowski, M. Orłowski, W. Kurpiewski, W. Juśkiewicz, I. Kowalczyk**
Endoskopowe, histopatologiczne i molekularne wykładniki Aberrant crypt foci (ACF). str. 97

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2013 NUMBER 3 (44)

LIST OF CONTENT



MEDICINE

- P. Siermontowski, W. Kozłowski, A. Pedrycz**
Quantitative examination corellation of microscopic exponents of experimetal animals lung distension with weight after hyperbaric exposure single sign..... p. 7

TECHNOLOGY

- R. Kłós**
Heliox saturation diving in Poland. Part II.. p. 23
- M. Wierciński**
Poland's research and technologicl activity in the European Defence Agency within maritime mincountermeasures..... p. 65

MISCELLANEOUS

- W. Wiesner, M. Niedziela**
Underwater task performance during an examination..... p. 79
- M. Kowalczyk, W. Pesta, K. Zinkiewicz, A. Pedrycz, K. Paśnik,
P. Siermontowski, M. Orłowski, W. Kurpiewski, W. Juśkiewicz, I. Kowalczyk**
Endoscopic, histological and molecular markers of Aberrant crypt foci (ACF)..... p. 97

QUANTITATIVE EXAMINATION CORELLATION OF MICROSCOPIC EXPONENTS OF EXPERIMENTAL ANIMALS LUNG DISTENSION WITH WEIGHT AFTER HYPERBARIC EXPOSURE SINGLE SIGN

BADANIA ILOŚCIOWE KORELACJI MIKROSKOPOWYCH WYKŁADNIKÓW ROZDĘCIA PŁUC ZWIERZĄT DOŚWIADCZALNYCH Z ICH WAGĄ PO JEDNOKROTNEJ EKSPOZYCJI HIPERBARYCZNEJ

Piotr Siermontowski ¹⁾, Wojciech Kozłowski ²⁾, Agnieszka Pedrycz ³⁾

¹⁾ Maritime and Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine in Gdynia, Poland

¹⁾ Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowego Instytutu Medycznego w Gdyni

²⁾ Pathology Department, Military Institute of Medicine in Warsaw, Poland

²⁾ Zakład Patomorfologii Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

³⁾ Histology and Embryology Department with the Experimental Cytology Laboratory of Medical University in Lublin, Poland

³⁾ Katedra i Zakład Histologii i Embriologii z Pracownią Cytologii Doświadczalnej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

ARTICLE INFO

Journal: PolHypRes 2013 Vol. 44 Issue 3 pp. 7 – 22

ISSN: 1734-7009

eISSN: 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.44.1](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.44.1)

Pages: 16, figures: 2, tables: 4.

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Keywords/Słowa kluczowe:

(in English): pulmonary barotrauma, lung volume, connective fibers damage.

(in Polish): uraz ciśnieniowy płuc, objętość płuc, uszkodzenie włókien łącznotkankowych.

Polish-English bilingual publication

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

ABSTRACT

(in English)

Examinations conducted on the lungs of divers who had suffered a pulmonary barotrauma, as well as experimental research into the condition, including the authors' own studies, both macro- and microscopic, indicated an increased lung parenchyma aeration. Distension was dominant within the obtained image.

The objective of the research consisted in the evaluation of lung capacity changes following pulmonary barotrauma using a proven auteur experimental model. The capacity of isolated and fixed lungs was measured with the displacement method.

An increase in post-traumatic lung capacity in relation to the control group was expected. However, the lung capacity among experimental groups was lower as compared with the control group. Also the relation between lung capacity and animal weight decreased.

It was determined that the reasons for such results may be sought in the connective fibre damage found in alveolar walls, and thus an increased mechanical susceptibility of the lung and its capacity reduction under the influence of hydrostatic pressure.

(in Polish)

Badania płuc nurków, którzy przebyli uraz ciśnieniowy płuc, oraz badania doświadczalne, w tym badania własne, zarówno makroskopowe, jak i mikroskopowe wykazywały zwiększenie upowietrzenia mięszu płucnego. W obrazie dominowało rozdęcie.

Celem pracy było zbadanie, z użyciem sprawdzonego, autorskiego modelu doświadczalnego, zmian objętości płuc po przebyciu urazu ciśnieniowego. Objętość izolowanych, utrwalonych płuc mierzono metodą wypornościową.

Spodziewano się wzrostu objętości płuc po urazie w stosunku do grupy kontrolnej. Zmierzona objętość płuc grup doświadczalnych była jednak mniejsza w stosunku do grupy kontrolnej. Zmniejszał się również stosunek objętości płuc do wagi zwierzęcia.

Uznano, iż przyczyną takich wyników może być uszkodzenie przez uraz ciśnieniowy włókien łącznotkankowych w ścianach pęcherzyków, a co za tym idzie większa podatność mechaniczna płuca i zmniejszanie jego objętości pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego.

The summary in Russian on end of the publication

WSTĘP

Jednym z wykładników morfologicznych urazu ciśnieniowego płuc (UCP) jest ich rozdęcie. Gwałtowne zwiększanie objętości czynnika oddechowego w pęcherzyku płucnym prowadzić może do rozerwania jego ścian i powstania większej przestrzeni powietrznej – pęcherza rozdęciowego. Jednak nie wszystkie pęcherzyki ulegają rozerwaniu. W części z nich dochodzi jedynie do naciągnięcia ścian. Wiąże się to z jednej strony ze zwiększeniem objętości pęcherzyka, a z drugiej, należy przypuszczać że z „naciągnięciem” i zmniejszeniem grubości przegrody międzypęcherzykowej.

Lim i wsp. u czterech z pięciu nurków, którzy przebyli UCP stwierdzili rozedmę śródmiąższową, zwaną niekiedy "chirurgiczną" (ang. surgical emphysema) [1].

Badania innych autorów wykazały, że w UCP powstałym zarówno wskutek wypadków nurkowych, jak i w UCP doświadczalnie wykonanym w płucach np. 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 miąższu płucnego [2, 3, 4, 5].

Colebath i wsp. także badali ludzi, którzy przebyli UCP. Wykazali u nich m.in. zmniejszenie pojemności oddechowej (air space) [6].

W badaniach patomechanizmu UCP powstającego przy sztucznym oddychaniu z wysokim nadciśnieniem oddechowym, stosowanym z różnych powodów, stwierdzili, że proces ten ułatwia m. in. niedojrzałość histologiczna płuc [7].

W UCP wskutek nadmiernego poszerzenia przestrzeni powietrznych miąższu płucnego dochodzi do naciągnięcia ściany pęcherzykowo-naczyniowej [8] (ang. shear stress) w wyniku czego następuje otwarcie połączeń międzypęcherzykowych (ang. pulmonary pores) [9]. W efekcie końcowym następuje rozerwanie ścian pęcherzyków płucnych i końcowych oskrzelików z przerwaniem ciągłości m.in. ich mięśni gładkich [10].

W szerszym opracowaniu Rouby i wsp. u 86% chorych z UCP stwierdzili poszerzenie przestrzeni powietrznych, głównie pod postacią rozdęcia drzewa oskrzelowego i pęcherzykowego, pseudotorbieli powietrznych i podopłucnowych i/lub śródprzegrodowych [11]. Autorzy ci podkreślili, że te zmiany w płucach są swoiste dla UCP

We własnych badaniach wykładników morfologicznych UCP autorzy niniejszej pracy otrzymali podobne, jak u innych autorów wyniki [12].

Ponieważ opisy mikroskopowe i makroskopowe płuc badanych po urazie ciśnieniowym płuc mówią o cechach rozdęcia i rozedmy o różnej lokalizacji, a więc o zwiększeniu upowietrznienia miąższu płucnego, a badania spirometryczne osób które przebyły uraz wykazują zmniejszenie pojemności życiowej i innych pojemności i objętości płuc, zachęciło to nas do podjęcia badań doświadczalnych.

CEL PRACY

Celem pracy było wykorzystanie autorskiego, zwalidowanego w licznych innych badaniach modelu doświadczalnego urazu ciśnieniowego płuc do określenia zmian objętości płuc po przebytych urazach ciśnieniowych.

Na podstawie doniesień w piśmiennictwie i wyników badań własnych oczekiwano, iż płuca zwierząt doświadczalnych podanych UCP będą miały objętość większą, niż płuca w grupach kontrolnych.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano autorski model doświadczalny urazu ciśnieniowego płuc [13]. Badaniu poddano 63 króliki podzielone na grupy porównawczą [P] i doświadczalną [D]. W grupie porównawczej wyodrębniono dwie podgrupy. Pierwszą podgrupę [P] stanowiło 9 zwierząt, u których nie wykonywano żadnych zabiegów.

INTRODUCTION

Lung distension is one of the morphological exponents of pulmonary barotrauma (PB). A rapid increase of the breathing mix volume in a pulmonary alveolus may cause its walls to rupture, thus providing more space for the air and the occurrence of emphysema. However, not all alveoli become ruptured. For some of them, the process is limited to straining of the walls. This, on the one hand, is connected with a certain increase in the alveolar volume; yet, on the other, it presumably leads to an excess strain and a reduction in thickness of interalveolar septum.

According to the results of a study conducted by Lim and others, four out of five divers with PB manifested interstitial emphysema, also known as surgical emphysema [1].

Other authors' test results showed that both in the PB resulting from diving accidents as well as in the ones invoked as an experiment during autopsy, typical morphological exponents included: connection of the pleurae as well as the appearance of distension alveoli. It needs to be noted that lung damage was not always localized around the areas of fibrosis and scarring of pulmonary parenchyma [2,3,4,5].

Colebath and others also carried out research on humans following PB. Their findings included the detection of a reduced air space [6].

In their studies on the PB patho-mechanism occurring during artificial respiration with high respiratory overpressure, applied for various reasons, they noted that the process is facilitated by histological immaturity of the lungs [7].

Due to excessive expansion of the air spaces of pulmonary parenchyma as a result of PB, the alveolar-vascular wall becomes overstrained, the so-called shear stress [8], and as a consequence interalveolar connections become opened (pulmonary pores) [9]. In the end, the walls of pulmonary alveoli and lobular bronchioli rupture, with related interruption of smooth muscle tissue, etc. [10].

In a more detailed study, Rouby and others observed expanded air spaces in 86% of PB patients, mainly in the form of a bronchial and alveolar tree distension, air, subpleural and/or interseptal pseudocysts [11]. The authors emphasized that the above lesions in the lungs are PB characteristic.

In their own studies on morphological exponents of PB, the authors obtained similar results to other researchers [12].

Since the micro- and macroscopic lung descriptions, related to patients following pulmonary barotrauma, indicate traits of distension and emphysema of different locations, and thus an increased aeration of pulmonary parenchyma, whereas spirometry tests on people who suffered the trauma denote reduced pulmonary capacity as well as a reduction in the lung volume, our team was encouraged to undertake an experimental research devoted to this particular area of expertise.

OBJECTIVE

The objective of the study was to evaluate changes in lung capacity following pulmonary barotrauma with the use of an auteur pulmonary barotrauma model validated in the course of numerous studies.

On the basis of available literature, as well as the results of the authors' own studies, the lungs of experimental animals subjected to PB were expected to be characterised by a larger volume as compared with the animals from the control group.

MATERIAL AND METHODS

The research was based on an auteur experimental pulmonary barotrauma model [13].

Druga podgrupa; kontroli zabiegu [PZ] składała się z 6 zwierząt, u których wykonano wszystkie czynności zabiegowe jak w grupie D, z wyjątkiem UCP.

Króliki grupy D były natomiast poddane urazowi ciśnieniowemu płuc. Podzielono na cztery podgrupy w zależności od czasu obserwacji i stosowania bądź nie leczenia hiperbarycznego: podgrupa [D] - 16 zwierząt - przeprowadzano uraz ciśnieniowy i natychmiast po tym króliki uśmiercano. W podgrupie [DO] - 12 zwierząt - po doznanym urazie prowadzono obserwację przez okres 3 tygodni. Króliki podgrupy [DL] - 10 zwierząt - po doznanym urazie leczono hiperbarią powietrzną przez okres 169 minut, po czym uśmiercano. Króliki podgrupy [DLO] - 10 zwierząt - bezpośrednio po urazie leczono hiperbarią powietrzną jak w grupie DL, a następnie obserwowano przez okres 3 tygodni i później uśmiercano.

Zwierzęta grup (DL) i (DLO) leczono hiperbarią powietrzną; rekompresją i dekompresją leczniczą. Zastosowano zmodyfikowaną zgodnie z założeniami innych autorów [10] dla potrzeb tej pracy powietrzną tabelę leczniczą (tab. III) [14].

Atmosfera w komorze ciśnieniowej nie miała wpływu na zmiany w płucach, ponieważ wentylację prowadzono zgodnie z zasadami i teorią prowadzenia wentylacji dla obiektów hiperbarycznych podczas ekspozycji powietrznych [15].

Zwierzęta wszystkich grup uśmiercano przez podanie do żyły brzeżnej ucha dawki przekraczającej 50 mg na kilogram masy ciała siarczanu magnezu, w postaci nasyconego roztworu w 0,9% NaCl. Powodowało to śmierć zwierzęcia w czasie od 20 sekund do 1 minuty od podania.

Po uśmierceniu zwierzęta ważono i wykonywano badanie pośmiertne. Po rozcięciu powłok szyi, wypreparowywano i podwiązywano w dwóch miejscach tchawicę, celem niedopuszczenia do zapadnięcia się płuc po otwarciu klatki piersiowej. Przed otwarciem klatki piersiowej wykonywano obustronnie próbę wodną na obecność odmy opłucnowej. Następnie wydobywano w całości pakiet narządów klatki piersiowej i wypreparowywano z niego serce oraz grasicę wraz z tkankami śródpiersia. Do dalszego histopatologicznego pozostawiano pakiet narządowy, składający się z tchawicy, oskrzeli i płuc. Pakiety te utrwalano przez okres 14-u dni w 10% zobojętnionej formalinie. Podczas utrwalania pakiety pływały swobodnie po powierzchni utrwalacza zanurzone w ok. 40% swej objętości.

Po utrwaleniu pakiet narządowy wydobywano z utrwalacza i odcinano płuca od tchawicy i oskrzeli głównych. Cięcie przeprowadzano jak najbliżej wnęki płucnej. Płuca pojedynczo zanurzano w cylindrze miarowym, wypełnionym wodą i mierzono ich objętość, określając wzrost poziomu wody po całkowitym zanurzeniu płuca. W przypadku stwierdzenia podczas badania pośmiertnego odmy opłucnowej, bądź innych zaburzeń prawidłowego opowietrzenia badanego płuca, wynik pomiaru był odrzucany.

WYNIKI

Uzyskane wyniki zebrano i poddano analizie statystycznej. Średnie wyników uzyskanych w poszczególnych grupach przedstawia tabela 1.

It involved 63 rabbits divided into a comparative [P] and experimental [D] group. The comparative group was additionally divided into two subgroups. The first subgroup consisted of 9 animals which were not subjected to any treatment. The other subgroup, treatment control subgroup [PZ], consisted of 6 animals which were subjected to the same treatment activities as group [D], with the exception of pulmonary barotrauma.

The rabbits from group [D], on the other hand, were subjected to PB. They were divided into four subgroups determined by the duration of observation time and whether or not hyperbaric treatment was applied: subgroup [D] - 16 animals - pulmonary barotrauma was performed; animals were put to death immediately afterwards. Subgroup [DO] - 12 animals - pulmonary barotrauma was induced and followed by a 3-week long observation. Subgroup [DL] - 10 animals - pulmonary barotrauma was induced and treated with hyperbaric air for the period of 169 minutes; animals were put to death immediately after treatment completion. Subgroup [DLO] - 10 animals - similarly to subgroup [DL] the animals were treated with hyperbaric air immediately after the trauma, which was followed by a 3-week long observation. The animals were put to death afterwards.

The animals from subgroups [DL] and [DLO] were treated with hyperbaric air, medicinal recompression and decompression. For research purposes a modified air treatment table (tab III) [14] was applied in accordance with the assumptions made by other authors [10].

Hyperbaric chamber atmosphere had no impact on lesions occurring in the lungs, as ventilation was carried out in accordance with ventilation principles and theory with regard to hyperbaric facilities during air exposures [15]. The animals of all groups were put to death by administering into the marginal aural vein magnesium sulphate in the form of a saturated solution in 0.9% NaCl in a dose exceeding 50 mg/kg. Death in all of the animals occurred within 20 – 60 seconds of the injection being administered.

Following this procedure the animals were weighed and a post-mortem examination was performed. After the dissection of the neck area, two ligatures were provided around the trachea in order to prevent lung collapse when the chest was opened up. Opening of the chest was preceded by water tests for the presence of pneumothorax, separately for each chamber. Next, the entire organ set was removed from the chest and specimens were prepared from the heart and thymus together with mediastinal tissues. An organ set encompassing the trachea, bronchi and lungs was left for further histopathological examination. The sets were fixed for the period of 14 days in a solution of 10% buffered formalin. During this time the sets floated freely on the surface, with approx. 40% of their volume immersed in the fixative.

Following the fixation, the organ set was removed from the liquid and the lungs were separated from the trachea and the main bronchi. The dissection was conducted in the closest possible area to the pulmonary hilum. Each of the lungs was immersed separately in a graduated cylinder filled with water and its volume was measured by determining water level after full immersion. In situations when post-mortem examination indicated pneumothorax or other disorders pointing to incorrect aeration of the examined lung, the result was rejected.

RESULTS

The results have been collected and subjected to statistical analysis. Mean results for particular groups are presented in table 1.

Tabela 1

Wartości średnie wagi i objętości płuc w grupach.

	Waga zwierzęcia (CC)	Objętość płuca prawego	Objętość płuca lewego
Grupa P			
średnia	3677,77	20,28	17
odchylenie std	761,25	8,82	6,02
Grupa PZ			
średnia	3575,39	19,71	14,66
odchylenie std	414,74	4,67	5,23
Grupa D			
średnia	4114,44	20	13,37
odchylenie std	705,53	3,14	3,99
Grupa DO			
średnia	3980	16,71	11,85
odchylenie std	742,5	3,03	2,11
Grupa DL			
średnia	3568,57	17	13,25
odchylenie std	406,28	4,11	2,23
Grupa DLO			
średnia	4070	22,2	16,62
odchylenie std	655,88	5,72	4,49

W tabeli 2 (płuco prawe) i 3 (płuco lewe) przedstawiono, które porównania pomiędzy grupami doświadczalnymi wykazywały znamienność.

Tabela 2

Znamienności statystyczne porównań objętości płuca prawego w grupach * to $p < 0,05$, ** to $p < 0,01$.

	P	PZ	D	DO	DL	DLO
P	X		*	**	*	*
PZ		X	*	**	*	
D	*	*	X	*		*
DO	**	**	*	X	*	*
DL	*	*		*	X	*
DLO	*		*	*	*	X

Table 1

Mean values with regard to weight and lung volumes in particular groups.

	Animal weight (CC)	Right lung volume	Left lung volume
Grupa P			
Mean	3677,77	20,28	17
std deviation	761,25	8,82	6,02
Grupa PZ			
Mean	3575,39	19,71	14,66
std deviation	414,74	4,67	5,23
Grupa D			
Mean	4114,44	20	13,37
std deviation	705,53	3,14	3,99
Grupa DO			
Mean	3980	16,71	11,85
std deviation	742,5	3,03	2,11
Grupa DL			
Mean	3568,57	17	13,25
std deviation	406,28	4,11	2,23
Grupa DLO			
Mean	4070	22,2	16,62
std deviation	655,88	5,72	4,49

Table 2 (right lung) and table 3 (left lung) show which juxtapositions made among experimental groups indicated statistical significance.

Table 2

Statistical significance regarding volume differences of the right lung in groups: * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$.

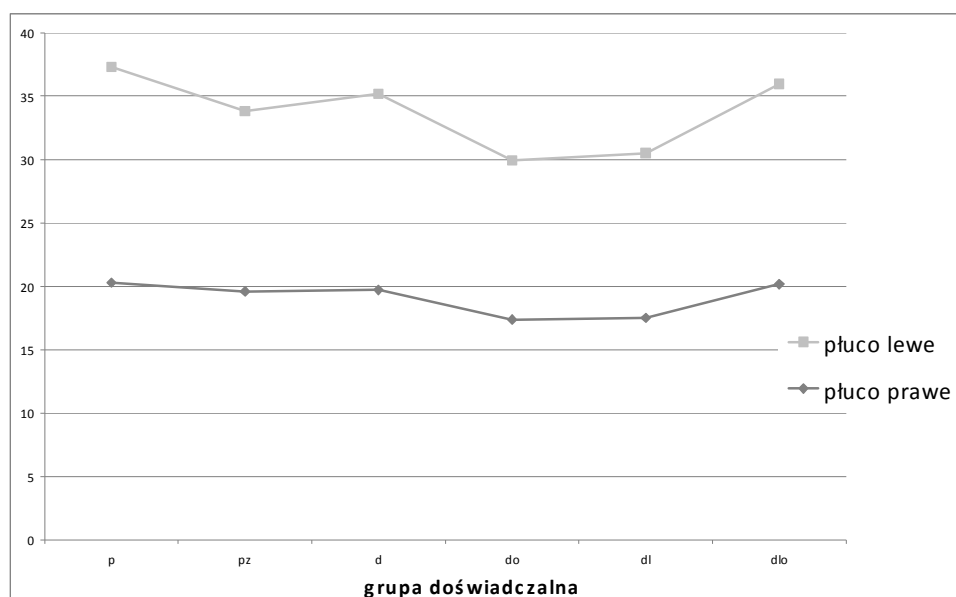
	P	PZ	D	DO	DL	DLO
P	X		*	**	*	*
PZ		X	*	**	*	
D	*	*	X	*		*
DO	**	**	*	X	*	*
DL	*	*		*	X	*
DLO	*		*	*	*	X

Znamienności statystyczne porównań objętości płuca lewego w grupach * to $p < 0,05$, ** to $p < 0,01$.

	P	PZ	D	DO	DL	DLO
P	X		*	**	*	*
PZ		X	*	**	*	
D	*	*	X	*		*
DO	**	**	*	X	*	*
DL	*	*		*	X	*
DLO	*		*	*	*	X

Jak widać, w obu płucach występują te same pary statystycznie istotnych różnic. Nieistotne statystycznie są jedynie różnice pomiędzy oboma grupami kontrolnymi (P i PZ) oraz między grupami D i DL.

Graficzne przedstawienie różnic objętości płuc w poszczególnych grupach doświadczalnych widoczne jest na rysunku 1.



Rys. 1. Zmiany objętości płuc zwierząt z poszczególnych grup badanych.

Dla porównania stosunku objętości płuc do wagi zwierzęcia, odrzucono najpierw wagi tych zwierząt, u których stwierdzono widoczne makroskopowo zaburzenia powietrzności płuc. Następnie zsumowano objętość obu płuc każdego zwierzęcia, wyliczono wartości średnie i wyliczono ich stosunek do wagi zwierząt w poszczególnych grupach. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Table 3

Statistical significance regarding volume differences of the left lung in groups: * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$.

	P	PZ	D	DO	DL	DLO
P	X		*	**	*	*
PZ		X	*	**	*	
D	*	*	X	*		*
DO	**	**	*	X	*	*
DL	*	*		*	X	*
DLO	*		*	*	*	X

As we see, both lungs displayed the same statistically significant differences. The only statistically insignificant differences were those between the control groups (P and PZ) as well as D and DL.

Graphic representation of lung volume differences in particular experimental groups is depicted in fig. 1.

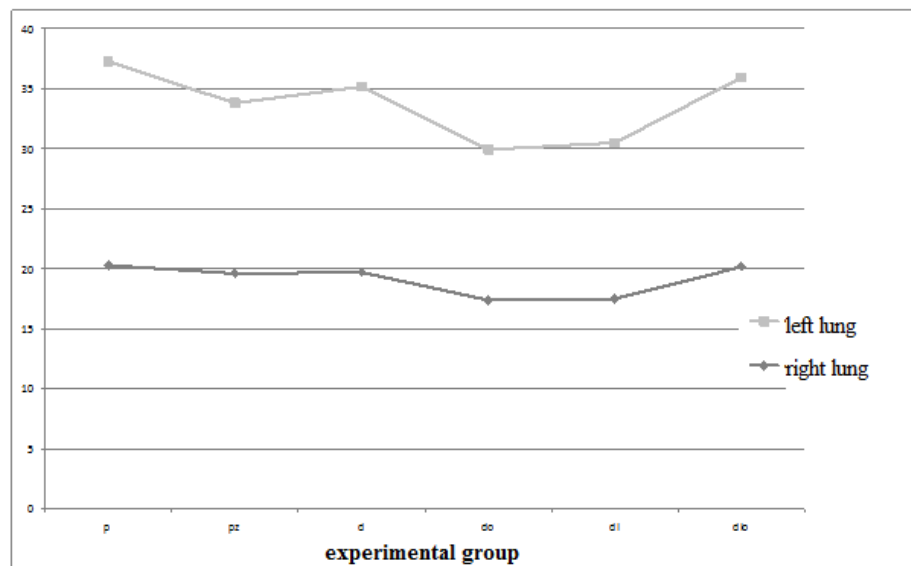


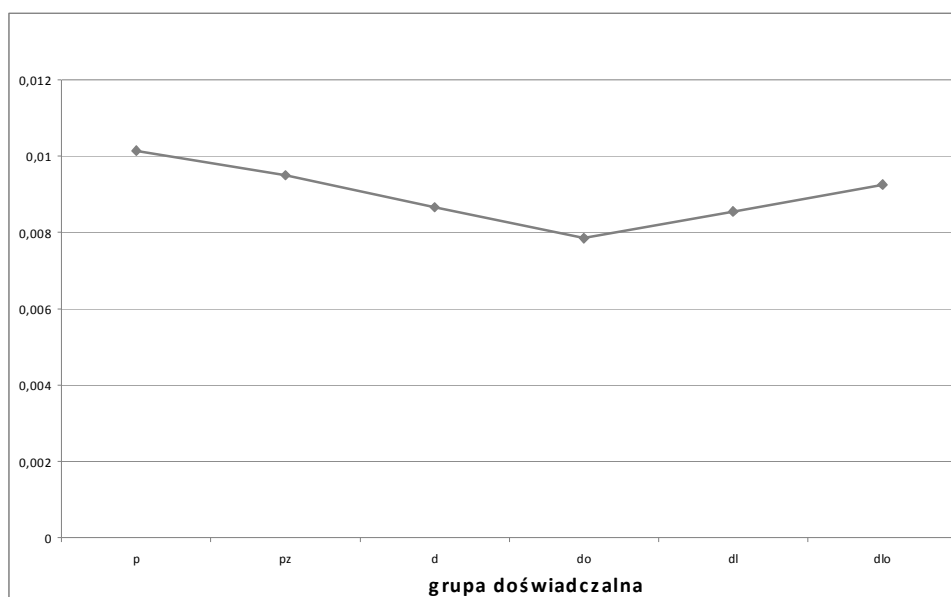
Fig. 1. Lung volume changes in animals from particular research groups.

For the purpose of conducting a comparison between lung volume ratios in relation to animals' weights, the weights of animals with visible macroscopic lung aeration disorders were rejected. Next, lung volumes of each animal were summed up, mean values calculated and their proportion to animals' weights in particular groups estimated. The results are presented in table 4.

Stosunek sumy objętości płuc do wagi zwierząt w grupie doświadczalnej.

	Waga zwierzęcia(CC)	Objętość płuca prawego	Objętość płuca lewego	Suma objętości płuc (V)	V / CC
Grupa P					
średnia	3677,77	20,28	17	37,28	0,010138
Grupa PZ					
średnia	3558,33	19,6	14,2	33,8	0,009499
Grupa D					
średnia	4063	19,71	15,46	35,18	0,008659
Grupa DO					
średnia	3814,16	17,37	12,55	29,93	0,007847
Grupa DL					
średnia	3568,57	17,5	13	30,5	0,008547
Grupa DLO					
średnia	3884,44	20,16	15,77	35,94	0,009253

Graficzne przedstawienie różnic stosunku objętości płuc do wagi zwierzęcia w poszczególnych grupach doświadczalnych widoczne jest na rysunku 2.



Rys. 2. Stosunek objętości płuc do wagi zwierząt.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wbrew oczekiwaniom zmierzona objętość płuc zwierząt poddanych urazowi ciśnieniowemu płuc nie rosła, lecz malała. Objętości mierzone w grupie kontroli zabiegu (PZ) były nieznacznie i niezamiennie statystycznie mniejsze, niż w grupie kontrolnej (P). Natomiast w pozostałych grupach objętość płuc osiągała mniejsze wartości w stosunku do grup porównawczych. Najmniejsze objętości płuc stwierdzono w grupie DO. Nieco mniejsza była różnica pomiędzy grupami kontrolnymi a grupami D i DL, które pomiędzy sobą różniły się nieznacznie i w sposób nieznamienisty statystycznie.

Table 4

Total lung volume in relation to animals' weight in the experimental group.

	Animal weight (CC)	Right lung volume	Left lung volume	Total lung volume (V)	V / CC
Group C					
Mean	3677.77	20.28	17	37.28	0.010138
Group PZ					
Mean	3558.33	19.6	14.2	33.8	0.009499
Group E					
Mean	4063	19.71	15.46	35.18	0.008659
Group DO					
Mean	3814.16	17.37	12.55	29.93	0.007847
Group DL					
Mean	3568.57	17.5	13	30.5	0.008547
Group DLO					
Mean	3884.44	20.16	15.77	35.94	0.009253

Graphic representation of lung volume differences in relation to weights of animals from particular experimental groups has been depicted in fig. 2.

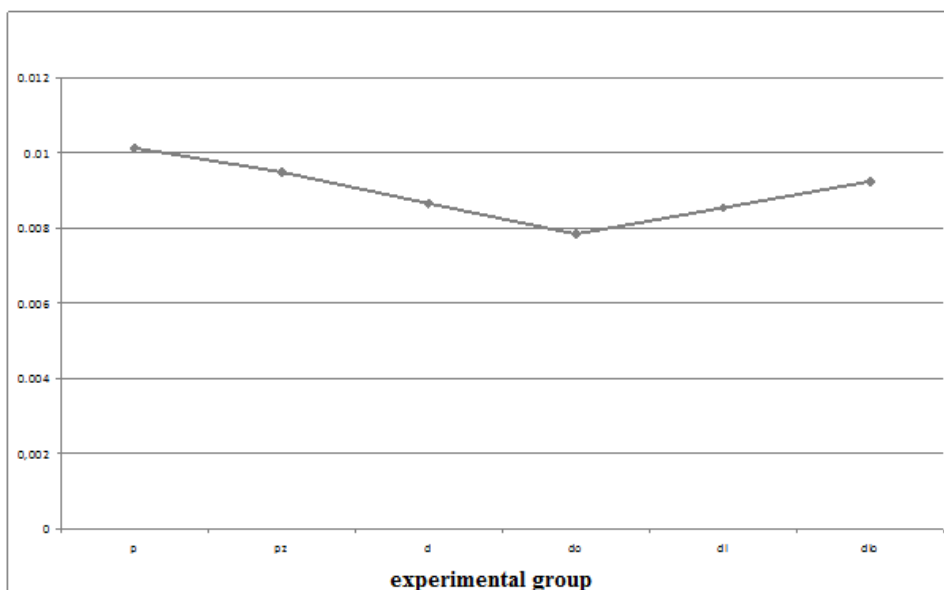


Fig. 2. Lung volume in relation to animals' weights.

DISCUSSION OF RESULTS

Contrary to researchers' expectations, the lung volumes in animals subjected to pulmonary barotrauma tended to decrease in size. The volumes measured in treatment control group [PZ] were insignificantly lower than those in control group [P]. However, in the remaining groups, lung volume values were smaller than those obtained for comparative groups. The smallest lung volumes were observed in group DO.

Natomiast grupa DLO wykazywała wartości objętości nieznacznie jedynie mniejsze, niż w grupach kontrolnych i nie wykazywała znamienności statystycznej w porównaniu z grupą kontroli zabiegu PZ. W obu płucach zmiany przebiegały w identyczny sposób.

Wyjaśnienia wymaga fakt, iż badania makroskopowe – pomiary objętości wykazały spadek objętości, natomiast przeprowadzone na tych samych płucach badania mikroskopowe w tym ilościowe wykazały zwiększenie objętości przestrzeni powietrznych.

Przyczyną tej pozornej sprzeczności może być zmiana struktury ściany pęcherzyka płucnego. W badaniach własnych pęcherze rozdęciowe podopłucnowe stwierdzono u 40% królików grupy D, natomiast w całej grupie poddanej UCP (D+DO+DL+DLO) wystąpiły one u ok. 27% zwierząt. Pęcherze rozdęciowe były zapewne następstwem uszkodzenia mechanicznego przez powietrze gwałtownie zwiększające swoją objętość, zatrzymane podczas dekompresji w drzewie oskrzelowo-pęcherzykowym. Warto tu nadmienić, że u zwierząt tych nie stwierdzono wykładników proteolitycznego uszkodzenia włókien sprężystych w mięszu płucnym. Nie były to zatem zmiany rozedmowe we współczesnym rozumieniu tego typu uszkodzenia mięszu płucnego [16].

Zwiększenie prawidłowych i patologicznych przestrzeni powietrznych płuc w UCP spostrzegali i inni autorzy [11, 17]. Warto w tym miejscu podkreślić, że w badaniach własnych oceniano objętość jedynie naturalnych przestrzeni powietrznych płuc, bowiem króliki ze zmianami patologicznymi były eliminowane z dalszych badań.

Niektórzy autorzy uważają jednocześnie, że UCP powoduje zmniejszenie tzw. podatności płuc, u podłoża której leży uszkodzenie włókien łącznotkankowych, w tym głównie sprężystych. W efekcie końcowym tych zmian dochodzi do pęknięcia ścian pęcherzyków płucnych i rozedmy śródmiąższowej płuc [6].

Pęknięcie, bądź rozciąganie ścian pęcherzyków płucnych prowadzi, jak wspomniano powyżej, do uszkodzenia włókien łącznotkankowych stanowiących ich „szkielet”. Rozległe uszkodzenia łącznotkankowego zrębu płuca może stanowić przyczynę większej podatności mięszu płucnego na oddziaływanie mechaniczne, zmniejszenia sprężystości, spoistości i konsystencji płuca. Taka zmiana struktury płuca mogła być podczas mierzenia objętości, polegającego na zanurzaniu pod powierzchnię wody, przyczyną zmian jego objętości pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego.

Należy pamiętać, że pakiety tkankowe były utrwalane z zachowaniem powietrzności, czyli w płucu w momencie pomiaru objętości znajdowało się powietrze i pewna ilość formaliny, która zdążyła zdyfundować do jego wnętrza. Podczas zanurzania w wodzie powietrze ulegało sprężeniu, a stopień odkształcenia płuca zależał wyłącznie od oporu mechanicznego stawianego przez jego strukturę. Im więc bardziej była ona uszkodzona, tym do większego odkształcenia mogło dojść.

Obserwowane różnice pomiędzy badanymi grupami sugerują, że stopień uszkodzenia struktury ścian pęcherzyków płucnych jest różny w zależności od czasu, jaki upłynął od doznania urazu, a także od zastosowania leczenia hiperbarycznego. Nieznaczne różnice obserwowane również pomiędzy grupą kontrolną a kontroli zabiegu sugerować mogą, iż szybka dekompresja, nawet bez uniedrozniania dróg oddechowych może spowodować zmiany struktury skutkujące mniejszymi wartościami podczas pomiaru objętości. Zmiany w tej grupie zwierząt potwierdzono również podczas badań mikroskopowych i makroskopowych [18].

Dla pełnego wyjaśnienia przyczyn zmian objętości płuc zwierząt poddanych urazowi ciśnieniowemu płuc i potwierdzenia, bądź wykluczenia sugerowanego powyżej patomechanizmu, niezbędne są dalsze badania morfologiczne, w tym ilościowe, zmian w strukturze włókien łącznotkankowych w ścianach pęcherzyków płucnych.

A slightly smaller difference was noted between the control groups and groups D and DL, which were rather similar and exposed only statistically insignificant differences between them. Group DLO, on the other hand, indicated only slightly smaller lung volume values as compared with the control groups and showed no statistical significance in relation to treatment control groups PZ. In both lungs changes occurred in an identical manner.

A fact requiring some explanation is that in macroscopic examinations lung volume measurements pointed to a volume decrease, whereas microscopic examinations, including quantitative measurements, carried out on the same specimens, suggested an increase in air space volumes.

The reason for this apparent discrepancy may lie in a change in the alveolar wall structure. In the course of the authors' own studies, subpleural distension alveoli were noted in 40% of the rabbits from group D, whereas in the entire group of animals subjected to PB (D+DO+DL+DLO) they were observed in 27% of the animals. The occurrence of distension alveoli presumably resulted from mechanical damage caused by the air, trapped in the broncho-alveolar tree during decompression, rapidly increasing its volume. It is worth mentioning that in those animals no exponents of proteolytic damage to the elastic fibres in pulmonary parenchyma occurred. Thus, the detected changes could not have been emphysemic in the modern understanding of this type of pulmonary parenchyma damage [16].

An enlargement of regular and pathological air spaces in the lungs during PB was also noted by other authors [11, 17]. It should be emphasized that the presented study focused on an evaluation of only natural pulmonary air spaces, with the rabbits displaying pathological lesions eliminated from further examinations.

At the same time, some authors claim that PB results in a reduction in the so-called pulmonary compliance due to connective tissue fibre damage, mainly elastic fibres. In the final stage, alveolar walls rupture followed by an occurrence of interstitial emphysema [6].

As mentioned before, rupturing or straining of the walls of the pulmonary alveoli results in damage to connective tissue fibres constituting their "framework". Vast damage to the connective tissues of the lungs may constitute the reason for an increased susceptibility of pulmonary parenchyma to mechanical factors, reduction of its elasticity, cohesion and consistency. Such a change to the lung structure could have appeared during volume measurements involving the lungs being immersed in water, and be an immediate consequence of hydrostatic pressure effect.

It should be remembered that tissue sets were fixed by preserving their aeration, i.e. during the measurement a certain amount of air was present in the lung as well as some formalin that was diffused inside it. During the immersion in water the air was subjected to compression, and the distortion level was dependent solely on the mechanical resistance of its structure. Thus, the more it was damaged, the greater the possible distortion.

Differences observed between researched groups suggest that the level of damage to the structure of alveolar walls varied depending on the time elapsing from trauma occurrence, as well as the applied hyperbaric treatment. Slight differences noted also between the control and treatment control groups may imply that quick decompression, even without an obstruction of the respiratory tract, may evoke structural changes resulting in smaller volume measurement values. Changes in this group of animals were also confirmed during micro- and macroscopic examinations [18].

A more comprehensive explanation of the reasons behind changes in lung volumes in animals subjected to pulmonary barotrauma, or a more definite exclusion of the above pathomechanism, require further morphological examinations, including quantitative ones, on structural changes in the connective tissue fibres of pulmonary alveoli.

WNIOSKI

- Przebycie UCP powoduje zmniejszenie objętości izolowanych i utrwalonych płuc zwierząt doświadczalnych.
- Zastosowanie leczenia hiperbarycznego w istotny sposób ogranicza nasilenie tych zmian przy dłuższym czasie obserwacji.
- Możliwą przyczyną zmian może być uszkodzenie włókien łącznotkankowych w ścianie pęcherzyków płucnych, co wymaga jednak dalszych badań.

CONCLUSIONS

- PB occurrence is linked to volume reduction in the isolated and fixed lungs of experimental animals.
- The application of hyperbaric treatment significantly reduces the intensification level of the described changes as it was noted in groups with a longer observation time.
- A possible reason for the said changes may be sought in the damage inflicted on connective tissue fibres in the alveolar walls, which, however, requires further research.

BIBLIOGRAPHY

1. Lim EB, How J: A review of cases of pulmonary barotrauma from diving. *Singapore.Med.J.* 1993, 34(1): 169;
2. Calder IM: Autopsy and experimental observations on factors leading to barotrauma in man. *Undersea Biomed.Res.* 1985, 12(2): 165 – 182;
3. Edmonds C, Lowry C, Pennefather J: Diving and subaquatic medicine. Sydney Australia Diving Medical Centre Publication 1984;
4. Elliot D.: The decompression diseases. *SPUMS* - Oct.-Dec. 1981: 25 – 35;
5. Strauss R: Diving Medicine. New York. USA Grune & Stratton. 1976: 35-63, 83-97, 303-317, 341-348;
6. Colebath HJ, Nog CK: Decreased pulmonary distensibility and pulmonary barotrauma in divers. *Respir.Physiol.* 1991, 86(3) 293 – 303;
7. Parker JC, Hernandez LA, Peevy KJ: Mechanisms of ventilator induced lung injury. *Crit.Care.Med.* 1993, 21(1): 131 – 43;
8. Macklin MT, Macklin CC: Malignant interstitial emphysema of the lungs and mediastinum as an important occult complication in many respiratory diseases and other conditions: An interpretation of the clinical literature in the light of laboratory experiment. *Medicine* 1944, 23: 281 – 358;
9. van Allen CM, Hrdina LA, Clark J: Air embolism from the pulmonary vein - a clinical and experimental study. *Arch. Surg.* 1929, 19, 567 – 599;
10. Bennet P, Elliot D: The physiology and medicine of diving. London Bailliere Tindall, 1993;
11. Rouby JJ, Lherm T, Martin de Lassale E, Poete P, Bodin L, Finet JF, 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;
12. Siermontowski P, Zieliński K, Kozakiewicz M, Olszański R, Koktysz R, Dąbrowiecki Z: Histoarchitectural changes of rabbit lung parenchyma in the course of experimental barotrauma evaluated by quantitative method. *Bull. Vet. Inst. Puławy* 2011, 55: 355 – 359;
13. Siermontowski P, Kozłowski W, Romuald Olszański R, Pedrycz A: Znaczenie modelu doświadczalnego urazu ciśnieniowego płuc w badaniu wypadków nurkowych. *PolHypRes* 2012 1(38): 7-28 Polish [The importance of the experimental model of lung barotrauma in the study of diving accidents];
14. Austauschabelle für das Tauchen mit Pressluftgeräten. Behandlungstabelle für Caissonkrankheit und Luftembolie. Lübeck Drägerwerk AG 1983 German [Decompression table for diving with compressed air equipment. Treatment table for caisson and air embolism];
15. Olejnik A: Wentylacja komory dekompresyjnej podczas powietrznych ekspozycji hiperbarycznych. Gdynia PTMiTH 2007: 21-29, 120-122 Polish [Ventilation air decompression chamber during hyperbaric exposures];
16. Sułkowski ST: Morfogeneza doświadczalnej rozedmy płuc. - rozprawa habilitacyjna. Białystok Akad. Med. Wyd. Uczelniane 1994 Polish [Morphogenesis of experimental pulmonary emphysema];

17. Philit F, Petit JY, Thomas X, Gaussorgues P, Robert D: Subpleural air cysts. A complication of barotrauma during mechanical ventilation. *Rev.Mal.Respir.* 1990, 7(4): 343 8;
18. Siermontowski P, Kozłowski W, Pedrycz A, Krefft K: Miejscowy uraz ciśnieniowy płuc – wstępne wnioski z badań doświadczalnych. *PolHypRes* 2012 4(41): 21 – 42 Polish [Local pulmonary barotrauma - initial conclusions from an experimental research].

dr med. Piotr Siermontowski
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
e-mail: nurdok@tlen.pl

prof. dr hab. med. Wojciech Kozłowski
Zakład Patomorfologii
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Szaserów 128 01-141 Warszawa 44
tel. 22/6816645 tel. MON 816645
e-mail: wojciechkozowski@interia.pl

dr hab. med. Agnieszka Pedrycz
Katedra i Zakład Histologii i Embriologii
z Pracownią Cytologii Doświadczalnej
Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
ul. Radziwiłłowska 11 20-080, Lublin
e-mail: apw4@wp.pl

ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ЛЕГОЧНОЙ ГИПЕРИНФЛЯЦИИ У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ К ИХ МАССЕ ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ

Исследование легких водолазов, которые подверглись легочной баротравме, а также экспериментальные исследования, в том числе мои собственные, как макроскопические, так и микроскопические показали изменение паренхимы легких, характеризующееся расширением воздушных пространств. Наблюдения показали, что доминирует растяжение.

Целью данного исследования являлось изучение, используя проверенный собственный модель экспериментальный, изменения объема легких после получения баротравмы. Объем изолированных, фиксированных легких измерялся методом скользящего смещения.

Ожидалось увеличение объема легких после баротравмы по сравнению с контрольной группой. Измеренный объем легких у экспериментальной группы был меньше по сравнению с контрольной группой. Снизилось также отношение объема легких к массе животного. Был сделан вывод о том, что причиной этих результатов могут быть повреждения соединительнотканых волокон в стенках альвеолы в результате баротравмы и, таким образом, более высокая механическая восприимчивость легких, а также уменьшение объема под влиянием гидростатического давления.

Ключевые слова: баротравмы, объем легких, повреждение соединительнотканых волокон.

HELIOX SATURATION DIVING IN POLAND. PART II

NURKOWANIA SATUROWANE Z WYKORZYSTANIEM HELIOKSU. CZĘŚĆ II

Ryszard Kłós

Polish Naval Academy, Department of Underwater Work Technology in Gdynia, Poland
Akademia Marynarki Wojennej Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

ARTICLE INFO

Journal: PolHypRes 2013 Vol. 44 Issue 3 pp. 23 – 64

ISSN: 1734-7009

eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR. 44.2

Pages: 42, figures: 3, tables: 7.

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Keywords/Słowa kluczowe:

(in English): decompression, saturation diving.

(in Polish): ratowanie tonących, akcja ratunkowa, nurkowanie.

Polish-English bilingual publication

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

ABSTRACT

(in English)

The described saturation diving technology was launched as training for Polish Navy specialists. It is an effect of the R&D project No. R00 O0014/3 entitled: "Saturation Diving Technology" financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education, which have been implemented earlier by Academy in LOTOS Petrobaltic SA.

Continuation of the article, which appeared in the PHR 2(43) 2013.

(in Polish)

Opisana technologia nurkowania realizowana była, jako szkolenia dla specjalistów Marynarki Wojennej RP stanowiąc wdrożenie efektów projektu badawczo-rozwojowego nr R00-O0014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” finansowanego ze środków na naukę, które wcześniej wdrożono w LOTOS Petrobaltic SA.

Ciąg dalszy artykułu, który ukazał się w PHR 2(43) 2013.

НАСЫЩЕННЫЕ ПОГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕЛИОКСА

Часть II

Описанная техника ныряния была реализована как подготовка специалистов Польского военно-морского флота и становила реализацию итогов Научно-исследовательского проекта № R00-O0014/3 пт: «Методология погружений сатурационных», финансируемого с ресурсов на обучение, которые были реализованы в LOTOS Петробалтик SA.

Ключевые слова: декомпрессия, погружения сатурационные.

dr hab. inż. Ryszard Kłós, prof. nadzw. AMW
Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte
Zakład Technologii Prac Podwodnych
81 – 103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69
tel.: +58 626 27 46, fax.: +58 626 27 61

1.7. DEKOMPRESJA

Start dekompresji

Dekompresję można rozpocząć, jako dozwoloną wycieczkę na głębokość mniejszą od plateau saturacji – tab. 8. Szybkość przejścia na tę głębokość jest limitowana do $2 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,6 mH_2O \cdot min^{-1}$. Podejmowanie dekompresji zaraz po dojściu na głębokość dozwolonej wycieczki zwiększa ryzyko *DCS*, gdy plateau saturacji było na poziomie $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$. Dlatego w tym przypadku wymagany jest **2 godz** przystanek dekompresyjny na głębokości dozwolonej wycieczki z plateau saturacji. Po tym czasie można podjąć dalszą dekompresję zgodnie z tab.9.

Tabela 9

Szybkość prowadzenia dekompresji w funkcji głębokości.

Zakres głębokości		Szybkość prowadzenia dekompresji		Czas przejścia głębokości jednostkowej	
[mH ₂ O]	[fsw]	[mH ₂ O · godz ⁻¹]	[fsw · godz ⁻¹]	[min · mH ₂ O ⁻¹]	[min · fsw ⁻¹]
485–61,5	1600–200	ok.1,8	6	33,3	10
61,5–30,5	200–100	ok.1,5	5	40,0	12
30,5–15,5	100–50	ok.1,2	4	50,0	15
15,5–0	50–0	ok.0,9	3	66,6	20

Można też rozpocząć proces powrotu do normobarii, jako regularną procedurę dekompresyjną bez zastosowania wstępnego przejścia nurków na głębokość dozwolonej wycieczki. Szybkości dekompresji zebrano w tab. 9. Dekompresja może być realizowana w sposób ciągły lub skokowo, co $1 fsw \triangleq 0,3 mH_2O$ z nieprzekraczalną szybkością zmiany głębokości $\dot{v} \leq 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$. Przykładowo jeśli dekompresja przebiegać ma z szybkością $\dot{v} = 5 fsw \cdot godz^{-1} \triangleq 1,5 mH_2O \cdot min^{-1}$, to można zmieniać głębokość o $1 fsw \triangleq 0,3 mH_2O$ co każde **12 min** – tab. 9.

Ze względu na to, że blisko powierzchni trudno utrzymać prawidłowy przepływ przez analizatory można zastosować ostatni przystanek dekompresyjny przed osiągnięciem powierzchni na głębokości $4 fsw \triangleq 1,2 mH_2O$. Przystanek ten powinien trwać $\tau = 80 min$ i następnie z szybkością $\dot{v} = 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$ można wynurzyć się do powierzchni.

Podczas dekompresji należy utrzymywać cały czas ciśnienie parcjalne tlenu na poziomie $p_{O_2} \in [44; 48] kPa$ aż do chwili gdy zawartość tlenu w kompleksie osiągnie $x_{O_2} = 19\%$. Od tego momentu należy zacząć utrzymywać wartość stężenia w zakresie $x_{O_2} \in [19; 23]\%$. Jest to bezpieczne z punktu widzenia dekompresji a zmniejsza wydatnie zagrożenie pożarowe.

Celem zabezpieczenia się przed nagłym spadkiem ciśnienia cząstkowego tlenu podczas stosowania procedury wstępnego przejścia na stację dekompresyjną równoważną głębokości dozwolonej wycieczki należy tuż przed jej podjęciem podnieść ciśnienie cząstkowe tlenu w habitacie do wartości $p_{O_2} = 0,6 kPa$. Jednak dla przejścia z głębokości plateau $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$ nie jest to dostatecznym zabezpieczeniem i ciśnienie cząstkowe tlenu spada poniżej minimalnej dozwolonej wartości $p_{O_2} < 44 kPa$. Dlatego po dokonaniu tej operacji należy jak najszybciej podnieść je do wartości prawidłowej. Przykładowo, o jaką wartość spadnie ciśnienie cząstkowe tlenu Δp_{O_2} z początkowej wartości $p_{O_2} = 60 kPa$ po wykonaniu maksymalnej dozwolonej wycieczki dekompresyjnej na głębokość mniejszą od plateau saturacji wynoszące $H = 60 mH_2O$. Oznaczając jako p_{O_2} – ciśnienie cząstkowe tlenu, p – ciśnienie całkowite, x_{O_2} – ułamek molowy tlenu, można zapisać formułę na obliczanie ciśnienia cząstkowego tlenu dla stanu początkowego: $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2}$ i końcowego: $p_{O_2}^k = (p - \Delta p) \cdot x_{O_2}$.

1.7. DECOMPRESSION

Decompression start

Decompression may be commenced as an allowable excursion to a depth shallower than the saturation plateau - tab. 8. The transition speed to this depth is limited to $2 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,6 mH_2O \cdot min^{-1}$. Undertaking decompression immediately after reaching the allowable excursion depth increases the risk of *DCS* with the saturation plateau at the level of $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$. For this reason a 2 hour decompression stop is required at the allowable excursion depth from the saturation plateau. After this time it is possible to undertake further decompression according to tab.9.

Table 9

Decompression speed in the function of depth.

Depth range		Decompression speed		Transition time to unit depth	
[mH ₂ O]	[fsw]	[mH ₂ O · hour ⁻¹]	[fsw · hour ⁻¹]	[min · mH ₂ O ⁻¹]	[min · fsw ⁻¹]
485-61.5	1600-200	ca.1.8	6	33.3	10
61.5-0.5	200-100	ca.1.5	5	40.0	12
30.5-15.5	100-50	ca.1.2	4	50.0	15
15.5-0	50-0	ca.0.9	3	66.6	20

It is also possible to commence the return process to normobaria as a regular decompression procedure without the divers' undertaking an initial transition to the allowable excursion depth. Decompression speeds are presented in tab.9. Decompression may be realized in a continuous or a stepwise manner every $1 fsw \triangleq 0.3 mH_2O$ with an impassable depth change speed of $\dot{v} \leq 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0.3 mH_2O \cdot min^{-1}$. For instance, if decompression is to be carried out with the speed of $\dot{v} = 5 fsw \cdot hour^{-1} \triangleq 1.5 mH_2O \cdot min^{-1}$, it is possible to change depths by $1 fsw \triangleq 0.3 mH_2O$ every $12 min$ - tab. 9.

Due to the fact that it is difficult to maintain proper flow through analyzers close to the surface it is possible to implement the last decompression stop before reaching the surface at the depth of $4 fsw \triangleq 1,2 mH_2O$. The stop should last $\tau = 80 min$ after which it will be possible to surface with the speed of $\dot{v} = 1 fsw \cdot min^{-1} \triangleq 0,3 mH_2O \cdot min^{-1}$.

During the entire decompression process it is required to maintain the oxygen partial pressure at the level of $p_{O_2} \in [44; 48] kPa$ until the moment when the oxygen content in the dive chamber complex will reach $x_{O_2} = 19\%$. From this point on it necessary to maintain its concentration value within the range of $x_{O_2} \in [19; 23]\%$. This is safe from the point of view of decompression and moreover, it considerably lowers the risk of fire.

For the purpose of securing divers against a sudden drop in the oxygen partial pressure during the initial transition procedure to a decompression station, at a depth equivalent to the allowable excursion depth, it is required to increase the oxygen partial pressure in the habitat to the value of $p_{O_2} = 0,6 kPa$ immediately before such transition. However, for a transition from the plateau depth of $H \leq 200 fsw \triangleq 60,6 mH_2O$ this does not constitute a sufficient preventive measure and the oxygen partial pressure decreases below the allowable value of $p_{O_2} < 44 kPa$. Thus, after completing this operation it is necessary to increase it to reach the correct value as soon as possible. For example, let us consider by what value the oxygen partial pressure Δp_{O_2} will drop from the initial value of $p_{O_2} = 60 kPa$ after performing a maximum allowable decompression excursion to a depth shallower than the saturation plateau of $H = 60 mH_2O$.

Marking oxygen partial pressure as p_{O_2} , total pressure as p , oxygen mole fraction as x_{O_2} , it is possible to express the formula for the calculation of oxygen partial pressure at the initial phase as: $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2}$ and at the final phase as: $p_{O_2}^k = (p - \Delta p) \cdot x_{O_2}$.

W obu przypadkach występuje jedynie jedna wartość stężenia tlenu x_{O_2} i przy przejściu z plateau saturacji ① do głębokości wycieczki ② nie ulega ona zmianie. Spadek ciśnienia cząstkowego tlenu Δp_{O_2} można obliczyć z różnicy wartości ciśnień cząstkowych $\Delta p_{O_2} = p_{O_2} - p_{O_2}^k$ i wyniesie: $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot x_{O_2}$, gdzie: Δp_{O_2} – spadek ciśnienia cząstkowego tlenu, Δp – spadek ciśnienia całkowitego, x_{O_2} – zawartość tlenu. Tak obliczony ułamek molowy tlenu można określić dla stanu początkowego korzystając powtórnie z definicji ciśnienia cząstkowego $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2} \rightarrow x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p}$, stąd można zapisać: $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot \frac{p_{O_2}}{p}$. Zgodnie z tab. 6 dozwolona jest wycieczka na głębokość $h_1 = 41 \text{ mH}_2\text{O}$ ²⁵, czyli zmiana głębokości o $\Delta h = 60 - 41 = 19 \text{ mH}_2\text{O}$, co pociąga spadek ciśnienia $\Delta p = 190 \text{ kPa}$. Stąd spadek ciśnienia cząstkowego tlenu wyniesie: $\Delta p_{O_2} \cong 16,3 \text{ kPa}$. Widać stąd, że ciśnienie cząstkowe na pierwszej stacji wyniesie $p_{O_2} \cong 60 - 16,3 \cong 43,7 \text{ kPa}$ i będzie mniejsze od najniższej wartości $p_{O_2}^{\text{min}} = 46 \text{ kPa}$ o wartość $\Delta p_{O_2} \cong 46 - 43,4 \cong 2,3 \text{ kPa}$, którą to wartość należy skorygować, jak to pokazano wcześniej, podnosząc na chwilę ciśnienie tlenem $\Delta p \cong 2,5 \text{ kPa} \cong 0,25 \text{ mH}_2\text{O}$.

Ze względu na zagrożenie pożarowe należy oszacować w jakim zakresie głębokości h zawartość tlenu x_{O_2} może osiągnąć wartość $x_{O_2} = 0,23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ podczas prowadzenia dekompresji z plateau saturacji. Z definicji ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} dla ciśnienia całkowitego p i ułamek molowy tlenu x_{O_2} , można zapisać: $p = \frac{p_{O_2}}{x_{O_2}}$. Wiadomo, że podczas saturacji należy utrzymywać ciśnienie parcjale tlenu w zakresie $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$, stąd: $p \in [191; 208] \text{ kPa}$, co odpowiada $p \in [9,1; 10,8] \text{ mH}_2\text{O}$.

Przerwa w dekompresji

Podczas **24 godz** doby należy zastosować dwa przystanki dekompresyjne stanowiące sumarycznie **8 godz** postoju na dowolnie wybranej głębokości. Minimalny czas jednego postoju powinien wynosić **2 godz**. Dobrze jest zaplanować rozkład doby dekompresji tak, aby nie była ona prowadzona podczas snu nurków²⁶.

Tabela 10

Dzienny program dekompresji.

Pora dnia	Czynności
0000–0600	Postój na stacji dekompresyjnej
0600–1400	Dekompresja
1400–1600	Postój na stacji dekompresyjnej
1600–2400	Dekompresja

Pora dnia	Czynności
2300–0500	Dekompresja
0500–0700	Postój na stacji dekompresyjnej
0700–0900	Dekompresja
0900–1500	Postój na stacji dekompresyjnej
1500–2300	Dekompresja

Nie jest to jednak regułą. W tab. 10 podano przykładowe dwa rozkłady prowadzenia dekompresji w ciągu doby.

²⁵ przyjęto metodą najgorszych okoliczności następną większą głębokość $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$, gdyż głębokość $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ nie występuje w tab. 8 a w kierunku większych głębokości następuje zmniejszenie głębokości wycieczki h_1 ,

²⁶ nurkowie powinni być świadomi prowadzonej dekompresji, gdyż zdarzyć się może, że brak wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym podczas prowadzenia dekompresji podczas snu może po przebudzeniu skutkować objawami bólowymi,

In both cases there is only one oxygen concentration value x_{O_2} that does not change during transition from the saturation plateau ① to the excursion depth ②. A decrease in the oxygen partial pressure Δp_{O_2} may be calculated based on a remainder of partial pressure values $\Delta p_{O_2} = p_{O_2} - p_{O_2}^k$ and will amount to: $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot x_{O_2}$, where: Δp_{O_2} – oxygen partial pressure decrease, Δp – total pressure decrease, x_{O_2} – oxygen content. So calculated oxygen mole fraction may be determined for the initial phase by reapplying partial pressure definition $p_{O_2} = p \cdot x_{O_2} \rightarrow x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p}$, thus we will obtain: $\Delta p_{O_2} = \Delta p \cdot \frac{p_{O_2}}{p}$. According to tab. 6 it is allowable to perform an excursion to the depth equal to $h_1 = 41 \text{ mH}_2\text{O}$ ²⁵, i.e. a depth change by $\Delta h = 60 - 41 = 19 \text{ mH}_2\text{O}$, which results in the pressure decrease of $\Delta p = 190 \text{ kPa}$. Hence, the oxygen partial pressure drop will reach: $\Delta p_{O_2} \cong 16.3 \text{ kPa}$. This reveals that the partial pressure at the first station will reach $p_{O_2} \cong 60 - 16.3 \cong 43.7 \text{ kPa}$ and will be lower than the lowest value $p_{O_2}^{\text{min}} = 46 \text{ kPa}$ by the value of $\Delta p_{O_2} \cong 46 - 43.4 \cong 2.3 \text{ kPa}$, which will require a correction, as it was earlier shown, by a momentary pressure increase with oxygen $\Delta p \cong 2.5 \text{ kPa} \cong 0.25 \text{ mH}_2\text{O}$. Due to fire hazard it is required to estimate the depth range h within which the oxygen content x_{O_2} could reach the value of $x_{O_2} = 0.23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ during the decompression from the saturation plateau. From oxygen partial pressure definition p_{O_2} for the total pressure p and oxygen mole fraction x_{O_2} , we may write: $p = \frac{p_{O_2}}{x_{O_2}}$. It is known that during saturation it is necessary to maintain the oxygen partial pressure within $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$, hence: $p \in [191; 208] \text{ kPa}$, which corresponds to $p \in [9.1; 10.8] \text{ mH}_2\text{O}$.

Decompression break

During a **24 hour period** it is required to implement two decompression stops of a total time of **8 hours** at a selected depth. The minimum time of a single stop should be **2 hours**. It is good to plan a twenty-four-hour decompression schedule in such a way as to avoid having it carried out during the divers' sleep²⁶.

Table 10

Daily decompression programme.

Time of day	Activities
0000-0600	Stop at a decompression station
0600-1400	Decompression
1400-1600	Stop at a decompression station
1600-2400	Decompression

Time of day	Activities
2300-0500	Decompression
0500-0700	Stop at a decompression station
0700-0900	Decompression
0900-1500	Stop at a decompression station
1500-2300	Decompression

²⁵ the next greater depth value of $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$ was adopted according to the worst case scenario method, since the depth of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ does not appear in tab. 8 and towards greater depths there is a reduction in the excursion depths h_1 ,

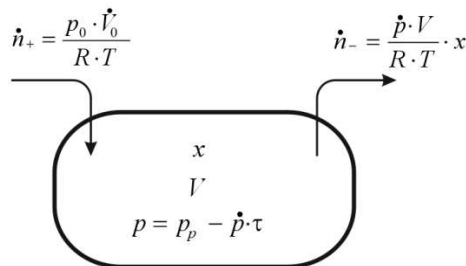
²⁶ divers should be conscious during decompression to ensure they carry out the act of balancing the pressure in the middle ear as and when required. If they were to fail to complete this manoeuvre owing to being in a deep sleep, they may experience some painful side effects up on waking up,

Zakończenie dekompresji

Po dekompresji nurkowie są nadal narażeni na chorobę dekompresyjną **DCS**. Stąd powinni oni pozostawać w bezpośrednim sąsiedztwie komory przez min. **2 godz** od osiągnięcia powierzchni. Przez dalsze **48 godz** powinni przebywać w miejscu odległym, z którego możliwy jest zawsze transport do komory w ciągu max. **30 min**. Nurkowie nie mogą podróżować drogą lotniczą do **72 godz** od chwili zakończenia dekompresji po saturacji.

Zapotrzebowanie na tlen

Podczas prowadzenia dekompresji należy utrzymywać cały czas ciśnienie parcjale tlenu na poziomie $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$ powoduje to konieczność zwiększania zawartości tlenu poprzez jego dodawanie do kompleksu aż do granicy, gdy ze względu na zagrożenie pożarowe utrzymywana jest stała zawartość tlenu. Interesujące jest oszacowanie zapotrzebowania na tlen potrzebny do zabezpieczenia tej fazy dekompresji. Przykładowo, należy oszacować zapotrzebowanie na tlen \dot{V}_0 dla kompleksu nurkowego o pojemności $V = 43 \text{ m}^3$ podczas dekompresji z głębokości plateau saturacji $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ w celu utrzymania ciśnienia cząstkowego tlenu $p_{O_2} = 46 \text{ kPa}$ na stałym poziomie aż do głębokości $h = 10 \text{ mH}_2\text{O}$, gdy jego stężenie osiągnie $x_{O_2} = 0,23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$.



Rys. 1. Bilans molowy tlenu dla dekompresji.

Zakładając, że szybkość zmiany ciśnienia \dot{p} i strumień dodawanego tlenu \dot{V}_0 są wartościami stałymi

$$\begin{aligned} \dot{p} \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{p} = \text{idem} \\ \dot{V}_0 \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{V}_0 = \text{idem} \end{aligned}$$

można zapisać bilans molowy. Granicznie mała zmiana zawartości tlenu $\frac{\partial x}{\partial \tau}$ może stanowić podstawę obliczenia zmiany liczby moli $\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau}$, gdzie: wyrażenie $p - \dot{p} \cdot \tau$ określa liniową zmianę ciśnienia w kompleksie:

$$\frac{p - \dot{p} \cdot \tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{p_0 \cdot \dot{V}_0}{R \cdot T} - \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T} \cdot x$$

gdzie: V – objętość kompleksu, p – ciśnienie, \dot{p} – szybkość zmiany ciśnienia, R – uniwersalna stała gazowa, T – temperatura, x – ułamek molowy tlenu w atmosferze habitatu, τ – czas.

Przekształcając, można zapisać:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\frac{V_0}{V} p_0 - \dot{p} \cdot x}{p - \dot{p} \cdot \tau}$$

Porządkując dane i całkując:

$$\int \frac{\partial x}{\dot{p} \cdot x - \frac{V_0}{V} p_0} = \int \frac{\partial \tau}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Still, this is not the norm. Tab. 10 shows two exemplary decompression distribution programmes for a twenty-four-hour period.

Decompression completion

After the decompression procedure, the divers still run the risk of suffering from decompression sickness (*DCS*). For this reason they should remain near the chamber for at least a two-hour period after reaching the surface. During the next **48 hours** they may be allowed to stray further from the chamber; however, they should be ensured transportation to the chamber within a maximum timeframe of **30 minutes**. Following a saturation dive, divers are not allowed to travel by air for up to **72 hours** after the completion of their decompression.

Oxygen demand

In the course of decompression it is necessary to maintain the oxygen partial pressure at $p_{O_2} \in [44; 48] \text{ kPa}$ at all times, which results in the requirement of increasing the oxygen content by adding it to the chamber complex until reaching the limit value, as due to fire hazard constant oxygen content needs to be maintained. What is interesting is the estimation of oxygen demand necessary for securing this decompression phase. By way of example, let us estimate oxygen demand V_0 for a diving complex with the capacity of $V = 43 \text{ m}^3$ during decompression from the saturation plateau of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ for the purpose of maintenance of the oxygen partial pressure $p_{O_2} = 46 \text{ kPa}$ at a constant level until reaching the depth $h = 10 \text{ mH}_2\text{O}$, when its concentration will reach $x_{O_2} = 0.23 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$.

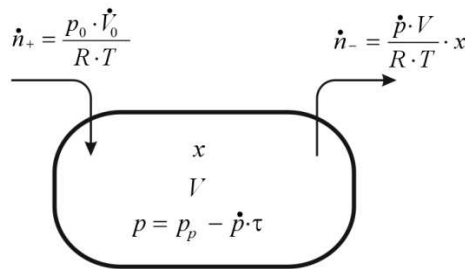


Fig. 1. Oxygen molar balance for decompression.

Assuming that the pressure change speed \dot{p} and the stream of supplied oxygen \dot{V}_0 constitute constant values

$$\begin{aligned} \dot{p} \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{p} = \text{idem} \\ \dot{V}_0 \neq f(\tau) &\rightarrow \dot{V}_0 = \text{idem} \end{aligned}$$

It is possible to express the molar balance. Even the slightest change in the oxygen content $\frac{\partial x}{\partial \tau}$ may provide the grounds for calculating the change in the number of moles $\frac{p - \dot{p}\tau}{RT} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau}$, where: the expression $p - \dot{p} \cdot \tau$ defines linear pressure change in the complex:

$$\frac{p - \dot{p}\tau}{R \cdot T} \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{p_0 \cdot \dot{V}_0}{R \cdot T} - \frac{\dot{p} \cdot V}{R \cdot T} \cdot x$$

where: V – complex volume, p – pressure, \dot{p} – pressure change speed, R – universal gas constant, T – temperature, x – oxygen mole fraction in the habitat's atmosphere, τ – time.

After rearrangement we may record it as:

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\dot{V}_0 \cdot p_0 - \dot{p} \cdot x}{p - \dot{p} \cdot \tau}$$

można otrzymać rozwiązanie ogólne równania całkowego:

$$\frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln \left| \dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0 \right| - \frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln |\dot{p} \cdot \tau - p| = C'$$

Mnożąc stronami przez szybkość zmiany ciśnienia \dot{p} i porządkując, można zapisać wyrażenie na wartość stałej całkowania:

$$C = \ln \frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Wiedząc, że dla warunków początkowych $x(\tau = 0) = x_0 \wedge \dot{V}_0(\tau = 0) = 0$ można obliczyć wartość stałej całkowania $C = \ln -\frac{p \cdot x_0}{\dot{p}}$. Następnie wstawiając ją do rozwiązania ogólnego całki można po opuszczeniu logarytmów zapisać, że:

$$\frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p} = -\frac{\dot{p} \cdot x_0}{\dot{p}}$$

Przekształcając

$$\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot p_0 = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot \dot{p} \cdot x_0$$

i następnie porządkując można otrzymać wyrażenie na zmianę zawartości tlenu w kompleksie nurkowym podczas dekompresji ze stałą szybkością opuszczania ciśnienia \dot{p} i przy dodawaniu stałego strumienia tlenu \dot{V}_0 :

$$x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 + \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}}$$

Ciśnienie cząstkowe tlenu p_{O_2} będzie iloczynem ciśnienia całkowitego $p(\tau)$ i zawartości tlenu $x(\tau)$ w funkcji czasu τ :

$$p_{O_2} = p(\tau) \cdot x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 \cdot p(\tau) + \frac{\dot{V}_0}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}} \cdot p(\tau)$$

Przekształcając poprzez przenoszenie pomiędzy stronami równania i zastępując $p(\tau) \equiv p - \dot{p} \cdot \tau$, można otrzymać:

$$\frac{p_0}{V \cdot \dot{p}} \cdot p(\tau) \cdot \dot{V}_0 = p_{O_2} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \cdot p(\tau)$$

Następnie porządkując, można zapisać:

$$\dot{V}_0 = \frac{\dot{p}}{p_0} \cdot V \cdot \left[\frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right]$$

otrzymując wyrażenie na zapotrzebowanie na tlen wyrażony jego stałym strumieniem \dot{V}_0 . Dla stanu końcowego zapotrzebowanie na tlen wyrażone przez jego objętość odniesiona do warunków normalnych V_0 można zapisać, jako:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\dot{p} \cdot \tau}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right)$$

After data ordering and integration:

$$\int \frac{\partial x}{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0} = \int \frac{\partial \tau}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

we receive a general solution for the integral equation:

$$\frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln \left| \dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0 \right| - \frac{1}{\dot{p}} \cdot \ln |\dot{p} \cdot \tau - p| = C'$$

By multiplying sides by pressure change speeds \dot{p} and ordering the equation, we may record the obtained expression for the integration constant as:

$$C = \ln \frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p}$$

Keeping in mind that for initial conditions of $x(\tau = 0) = x_0 \wedge \dot{V}_O(\tau = 0) = 0$ it is possible to calculate the integration constant: $C = \ln - \frac{p \cdot x_0}{p}$. Next, by insertion of the obtained value into the general integration solution and after logarithm omission, we may write:

$$\frac{\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0}{\dot{p} \cdot \tau - p} = - \frac{\dot{p} \cdot x_0}{p}$$

By transformation:

$$\dot{p} \cdot x - \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot p_0 = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot \dot{p} \cdot x_0$$

and ordering we receive an expression for an oxygen content change in the chamber complex during the decompression with a constant speed of pressure reduction \dot{p} and adding a constant oxygen stream \dot{V}_O :

$$x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 + \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}}$$

Oxygen partial pressure p_{O_2} will be the product of the total pressure $p(\tau)$ and oxygen content $x(\tau)$ expressed in the function of time τ :

$$p_{O_2} = p(\tau) \cdot x(\tau) = \left(1 - \frac{\dot{p}}{p} \cdot \tau\right) \cdot x_0 \cdot p(\tau) + \frac{\dot{V}_O}{V} \cdot \frac{p_0}{\dot{p}} \cdot p(\tau)$$

By transformation through a shift of equation members and substitution $p(\tau) \equiv p - \dot{p} \cdot \tau$, we will obtain:

$$\frac{p_0}{V \cdot \dot{p}} \cdot p(\tau) \cdot \dot{V}_O = p_{O_2} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \cdot p(\tau)$$

Next, by ordering we may record the following:

$$\dot{V}_O = \frac{\dot{p}}{p_0} \cdot V \cdot \left[\frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right]$$

and receive an expression for oxygen demand expressed by its constant stream \dot{V}_O . Oxygen demand in the final phase expressed by its volume referred to normal conditions V_0 may be recorded as follows:

Dla stanu końcowego iloczyn liniowej szybkości opuszczania ciśnienia i czasu trwania procesu dekompresji jest równy wartości zmiany ciśnienia $\Delta p \equiv \dot{p} \cdot \tau$ oraz ciśnienia całkowite dla chwili zakończenia dekompresji jest wartością końcową tego ciśnienia $p(\tau) \equiv p_k$, stąd ostatecznie można zapisać:

$$V_0 = \dot{V}_{O_2} \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k}{p_p} \cdot x_0 \right)$$

gdzie: p_{O_2} – ciśnienie cząstkowe tlenu, p_0 – ciśnienie normalne, \dot{V}_{O_2} – dozowanie tlenu, τ – czas dekompresji, V – objętość kompleksu, Δp – różnica ciśnień dekompresji, x_0 – zawartość tlenu, p_k – ciśnienie końcowe, p_p – ciśnienie początkowe.

Wyznaczając zawartość początkową tlenu x_0 z wartości początkowego ciśnienia cząstkowego

$$x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p_p}$$

$$V_0 = \dot{V}_{O_2} \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k p_{O_2}}{p_p^2} \right)$$

Stąd zapotrzebowanie na tlen V_0 wyniesie: $V_0 \cong 45,4 \text{ Nm}^3$, co odpowiada ok. 8 butlom tlenowym o ciśnieniu roboczym $p = 15 \text{ MPa}$ i objętości $V = 40 \text{ dm}^3$.

2. PROCEDURY LECZNICZE

Choroba dekompresyjna

Najczęściej choroba dekompresyjna *DCS*²⁷ może wystąpić podczas saturacji po wykonaniu wycieczki i pracy na głębokości mniejszej niż plateau saturacji lub w czasie dekompresji po zakończeniu saturacji. Występują różne typy *DCS* – tab. 11. *Typ I* i *typ II* powodowane są powstawaniem wolnej fazy gazowej we krwi i innych tkankach oraz niedokrwieniem. *Typ III* może powodować wolna faza gazowa, kontrdyfuzja gazu inertnego, oraz podwyższenie ciśnienia płynów ustrojowych w uchu środkowym. *Typ IV* jest mało poznany, możliwe że ma na niego wpływ wolna faza gazowa, niedokrwienie, embolia i kombinacja tych czynników. Prawdopodobny wpływ na postać tej choroby ma także retencja ditlenku węgla i szybka, powtarzająca się kompresja.

Tabela 11

Podział choroby dekompresyjnej *DCS*.

Typ I	choroba ciśnieniowa kończyn objawia się miejscowymi bólami kończyn, swędzeniem skóry, miejscowym zaczerwienieniem skóry, opuchliznami lub zwiotczeniami kolan, bioder, łokci, mięśni lub skóry.
Typ II	choroba ciśnieniowa centralnego układu nerwowego objawia się zmieszaniem, niepokojem, paraliżem, dusznością i bólami w klatce piersiowej, trudnością w oddychaniu, utratą przytomności, kłopotami ze skupieniem uwagi, kłopotami z utrzymaniem równowagi i postawy wyprostowanej, szczególnie utrzymaniem kręgosłupa.
Typ III	choroba ciśnieniowa ucha środkowego objawia się pogorszeniem słuchu, zawrotami głowy, dzwonieniem i szumieniem w uszach (tinitus) czy nudnościami i jest skutkiem oddziaływania ciśnienia na zachowanie równowagi w organach znajdujących się w uchu.
Typ IV	jałowa martwica kości objawia się mechanicznym uszkodzeniem kości, uszkodzeniami strukturalnymi, lokalną mineralizacją, szczególnie atakując kości długie.

²⁷ decompression sickness,

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{p \cdot \tau}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p(\tau)} - \frac{p(\tau)}{p} \cdot x_0 \right)$$

For the final phase the product of a linear pressure decrease speed, and the decompression process duration time, is equal to the pressure change value $\Delta p \equiv p \cdot \tau$ and the total pressure as of the moment of decompression completion and constitutes the final pressure value $p(\tau) \equiv p_k$, ultimately expressed as follows:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k}{p_p} \cdot x_0 \right)$$

where: p_{O_2} – oxygen partial pressure, p_0 – normal pressure, \dot{V}_{O_2} – oxygen dosage, τ – decompression time, V – chamber complex volume, Δp – decompression pressures differences, x_0 – oxygen content, p_k – final pressure, p_p – initial pressure.

Determining initial oxygen content x_0 based on the initial value of oxygen partial pressure $x_{O_2} = \frac{p_{O_2}}{p_p}$ we receive:

$$V_0 = \dot{V}_0 \cdot \tau = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot V \cdot \left(\frac{p_{O_2}}{p_k} - \frac{p_k \cdot p_{O_2}}{p_p^2} \right)$$

Thus, the oxygen demand V_0 will be as follows: $V_0 \cong 45.4 \text{ Nm}^3$, which corresponds to approx. 8 oxygen cylinders with the working pressure of $p = 15 \text{ MPa}$ and the volume of $V = 40 \text{ dm}^3$.

2. TREATMENT PROCEDURES

Decompression sickness

Decompression sickness (*DCS*²⁷) is likely to occur during the saturation after performing an excursion, and work, at a depth shallower than the saturation plateau, or during the decompression ensuing after a completed saturation. There are various *DCS* types - tab.11. *Type I* and *type II* are caused by the occurrence of a free gaseous phase in the blood and other tissues as well as ischaemia. *Type III* may be evoked by a free gaseous phase, counter diffusion of inert gas, and an increase in the pressure of bodily fluids in the middle ear. *Type IV* is still undergoing study, but is possibly affected by a free gaseous phase, ischaemia, embolism or a combination of these conditions.

Table 11

Decompression sickness classification.

<i>Type I</i>	decompression sickness affecting the extremities manifested by local pain in the extremities, itchy skin, local skin redness, swelling or atony of knees, hips, elbows, muscles or skin.
<i>Type II</i>	decompression sickness of the central nervous system manifested by confusion, anxiety, paralysis, breathlessness and pain in the chest, difficulty in breathing, loss of consciousness, problems with concentration, problems with maintaining balance and a straight position, in particular of the spine.
<i>Type III</i>	decompression sickness of the middle ear manifested by hearing impairment, dizziness, ringing and buzzing in the ears (tinnitus) or nausea related to pressure effect on the maintenance of balance in the organs located in the middle ear
<i>Type IV</i>	avascular necrosis manifested by mechanical bone damage, structural damage, local mineralization, in particular affecting the long bones

²⁷ decompression sickness,

Jeśli u jednego z nurków pozostających w saturacji wystąpią objawy **DCS** najczęściej występuje konieczność leczenia wszystkich²⁸, choć występuje szeroka rozpiętość osobniczej odporności na **DCS**.

Leczenie typu I DCS

Podczas saturacji **typ I DCS** może wystąpić po wycieczce na głębokości mniejsze niż plateau saturacji lub w czasie dekompresji po zakończeniu saturacji. Objawia się bólami w obszarze mięśni szkieletowych i stawów, szczególnie stawów kolanowych. Może być poprzedzony skórnymi objawami powodującymi swędzenie, wysypkę lub plamistość skóry. Najczęściej występuje początkowo zwiększająca się sztywność w obrębie stawów kolanowych utrudniająca poruszanie się. Następnie, w ciągu kilku godzin, występuje stopniowe narastanie bólu w obrębie stawów. Należy jednak uczulić nurków, aby potrafili odróżnić bóle występujące na skutek drobnych urazów czy po wysiłku od bóleści nie posiadających przyczyny w przeciążeniu stawów czy urazach mechanicznych powstających podczas pracy. Należy w tym celu dokładnie rozważyć historię powstania objawów bólowych oraz ich nasilenia. Jest mało prawdopodobne, aby bolesność powstała przed rozpoczęciem procesu dekompresji i niezmienna w czasie jej trwania była skutkiem **DCS**. **Typ I DCS** powstały podczas wycieczki oraz do **60 min** po wycieczce powyżej głębokości plateau saturacji powinien być traktowany, jak **typ II DCS** ponieważ najczęściej objawy **Typu I DCS** są jedynie symptomem poważniejszych komplikacji.

Typ I DCS pojawiający się po czasie dłuższym niż **60 min** po odbyciu wycieczki na głębokość mniejszą niż plateau saturacji lub występujący podczas dekompresji z plateau saturacji powinien być poddany powtórnej kompresji ze stopniowaniem co **1,5 mH₂O (5 fsw)** z szybkością **1,5 mH₂O · min⁻¹ (5 fsw · min⁻¹)** aż do uzyskania głębokości ulgi. Rekompresja o głębokość większą niż **9 mH₂O (30 fsw)** nie jest najczęściej wymagana. Z chwilą osiągnięcia głębokości ulgi należy podać nurkowi do oddychania mieszaninę leczniczą poprzez systemy **BIBS**. Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się w przedziale pomiędzy $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. Oddychanie heliksem leczniczym powinno być przerywane co każde **25 min** na **5 min** oddychania atmosferą kompleksu. Leczenie na głębokości powinno trwać do ustąpienia objawów, lecz nie krócej niż **2 godz.** O zakończeniu leczenia decyduje lekarz zabezpieczający. Dekompresja do plateau saturacji przebiega zgodnie z zasadami dekompresji standardowej. Po zaistnieniu **typu I DCS** zabronione są dla nurka dalsze wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji.

Leczenie typu II DCS i III DCS

Najczęściej **typ II DCS** jest efektem wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji. Typowymi objawami jest osłabienie, porażenie mięśni, utrata zborności i pamięci. Początek objawów jest zwykle nagły i występuje podczas procesu wynurzania na głębokości mniejsze niż plateau saturacji lub w ciągu pierwszej godziny wycieczki.

Typ III DCS przejawia się nudnościami i wymiotami, zawrotami głowy, utratą równowagi, dzwonieniem w uszach i utratą słuchu.

Leczenie objawów **DCS** powstałych podczas wycieczki na głębokość mniejszą od plateau saturacji polega na natychmiastowym podjęciu powrotu na plateau z prędkością **9 mH₂O · min⁻¹ (30 fsw · min⁻¹)**.

Jeśli objawy **typu II DCS** nie powstały podczas wycieczki na głębokość mniejszą od plateau saturacji, to należy podnosić ciśnienie z plateau saturacji z szybkością **1,5 mH₂O · min⁻¹ (5 fsw · min⁻¹)** aż do uzyskania głębokości, gdzie zaobserwuje się wyraźną poprawę stanu nurka. Z reguły obserwuje się na tej głębokości gwałtowne zmniejszenie objawów **DCS**.

Jeśli nie nastąpi gwałtowna poprawa w ciągu **(5; 10)min**, to przy asyście lekarza zabezpieczającego należy prowadzić dalszą kompresję do głębokości ulgi.

²⁸ ze względu na możliwości techniczne – brak możliwości izolowania nurków w różnych komorach kompleksu saturacyjnego,

A possible impact on its form is attributed to carbon dioxide retention and a quick repeated compression. In the case of *DCS* symptom occurrence in one of the divers remaining in the saturation, commonly it is required to treat the entire group²⁸, although individual immunity to *DCS* tends to be widely diversified.

Treatment of type I DCS

Type I DCS is most likely to occur during the saturation after performing an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, or during the decompression which follows a completed saturation. It is manifested by pain in the skeletal muscle area and joints, particularly the knee joint. The condition may be preceded with dermatological symptoms resulting in an itchy sensation, rash or spottiness. Usually, it starts with gradually developing stiffness around the knee joints, directly impeding movement possibilities. Several hours later it is characterized by gradual pain intensification in the joint area. Still, it is necessary to sensitize divers that they should be able to distinguish pain occurring as a consequence of minor injuries, or following physical effort, from the pain occurring for reasons not related to joint overload or mechanical injuries evoked during work. For this purpose it is necessary to carefully consider the history of pain-related symptoms and their intensification. It is largely unlikely that pain appearing before the initiation of the decompression process and persisting during its entire period is a result of *DCS*. *Type I DCS*, occurring during an excursion and persisting up to **60 min** afterwards above the saturation plateau depth, should be treated as *Type II DCS* since the most common *Type I DCS* symptoms are often a sign of more serious complications.

Type I DCS occurring after a period of 60 min has elapsed since completion of an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, or occurring during the decompression from the saturation plateau, should be subjected to a repeated compression with gradation every **1.5 mH₂O (5 fsw)** and a speed of **1.5 mH₂O · min⁻¹ (5 fsw · min⁻¹)** until reaching relief depth. Recompression by a depth greater than **9 mH₂O (30 fsw)** is not usually required.

The moment the relief depth is reached the diver should be provided with a treatment breathing mix through *BIBS*. The mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. Breathing with treatment heliox should be interrupted every **25 min** for **5 min** of breathing the chamber complex's atmosphere. Treatment at a depth should be continued until the symptoms subside, however not shorter than **2 hours**. The decision on treatment completion is taken by a securing physician. Decompression to the saturation plateau is carried out in accordance with standard decompression principles. After *Type I DCS* occurrence the affected diver is prohibited from undertaking further excursions to depths shallower than the saturation plateau.

Treatment of types II & III DCS

Type II DCS is typically an effect of excursions to depths shallower than the saturation plateau. Its symptoms include weakness, paralysis, loss of coherence of movement and memory. The onset is usually sudden and occurs while ascending to depths shallower than the saturation plateau or within the first hour of excursion.

Type III DCS is manifested by nausea and vomiting, dizziness, loss of balance, ringing in the ears and loss of hearing.

The treatment of *DCS* symptoms occurring during an excursion to a depth shallower than the saturation plateau consists in undertaking immediate return to the plateau with a speed of **9 mH₂O · min⁻¹ (30 fsw · min⁻¹)**.

²⁸ due to technical limitations it is not possible to isolate divers in different chambers of the saturation complex,

Po jej osiągnięciu należy podać nurkowi do oddychania mieszaninę leczniczą poprzez systemy **BIBS**.

Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się w granicach $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. Oddychanie heliksem leczniczym powinno być przerywane co każde **25 min** na **5 min** oddychania atmosferą kompleksu. Leczenie przy wykorzystaniu mieszanin leczniczych, na głębokości leczniczej, powinno trwać przynajmniej **2 godz.**

Po ustąpieniu wszystkich objawów i zakończeniu leczenia nurek powinien pozostać co najmniej **12 godz** na głębokości leczniczej oddychając atmosferą komory. Dekompresja do plateau saturacji przebiega zgodnie z zasadami dekompresji standardowej. Po leczeniu zabronione są dla nurka dalsze wycieczki na głębokości mniejsze niż plateau saturacji.

Tabela 12

Czynniki lecznicze.

Zakres głębokości		Hx
[fsw]	[mH ₂ O]	
0–60	0–18	100% _v O ₂
60–100	18–30	Hx 0,60 O ₂
100–200	30–60,5	Hx 0,38 O ₂
200–350	60,5–106	Hx 0,21 O ₂
350–600	106–181,5	Hx 0,13 O ₂
600–1000	181,5–303	Hx 0,08 O ₂
1000–1200	303–363,5	Hx 0,05 O ₂

Helioksy lecznicze

Ponieważ mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się pomiędzy $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$, to do zabezpieczenia procesu leczenia podczas nurkowań saturowanych używa się Hx i tlenu o określonym dla każdego zakresu głębokości składzie – tab. 12.

Objawy DCS po dekompresji z plateau saturacji

Leczenie objawów **DCS** zaobserwowanych podczas odpoczynku po dekompresji z plateau saturacji odbywa się zgodnie z typowymi zasadami leczenia chorób nurkowych metodami powietrznymi lub tlenowo-powietrznymi.

Zapotrzebowanie na helioksy lecznicze

Mieszaniną leczniczą może być helioks, dla którego ciśnienie cząstkowe tlenu zawiera się pomiędzy $p_{O_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. Przy planowaniu zabezpieczenia nurkowań saturowanych ważnym jest skalkulowanie zapotrzebowania na helioksy lecznicze. Przykładowo, należy określić zapotrzebowanie na Hx leczniczy dla 2 nurków na plateau saturacji $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$. Z plateau saturacji $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ możliwa jest wycieczka na maksymalną głębokość $h^{\text{max}} = 60 + 22 = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ ²⁹. Należy zatem liczyć się z tym, że maksymalna głębokość leczenia będzie większa od dozwolonej wycieczki $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$.

²⁹ ponieważ w tab. 8 nie występuje głębokość plateau $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ wzięto metodą najgorszych okoliczności dozwolona różnica głębokości $\Delta h = 22 \text{ mH}_2\text{O}$ dla mniejszej głębokości plateau $H = 58 \text{ mH}_2\text{O}$ i dodano ją do głębokości plateau $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ uzyskując maksymalną głębokość wycieczki $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$; dla większej głębokości plateau występującej w tab. 8 wynoszącej $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$ dozwolona wycieczka na maksymalną głębokość poniżej plateau saturacji wynosi $h^{\text{max}} = 84 \text{ mH}_2\text{O}$ jest większa od obliczonej, dlatego metodą najgorszych okoliczności wybrać mniejszą z nich $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$,

If **Type II DCS** symptoms are not related to an excursion to a depth shallower than the saturation plateau, the saturation plateau pressure should be increased at a pace of $1.5 \text{ mH}_2\text{O} \cdot \text{min}^{-1}$ ($5 \text{ fsw} \cdot \text{min}^{-1}$) until reaching the depth at which the diver's condition will be visibly improved.

Commonly at this depth there is a rapid alleviation of **DCS** symptoms. In the case of no such rapid improvement within **(5; 10)min**, further compression should be carried out until reaching the relief depth, under the supervision of a securing physician. The moment the relief depth is reached the diver should be provided with a treatment breathing mix through **BIBS**. The mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. Breathing with treatment heliox should be interrupted every **25 min** for **5 min** of breathing the chamber complex's atmosphere. Treatment with the use of medicinal mixes, at a treatment depth, should last at least **2 hours**. After all the symptoms subside and the treatment is completed the diver should remain at the treatment depth for at least a further **12 hours**, breathing the chamber's atmosphere. Decompression to the saturation plateau is carried out in accordance with standard decompression principles. After the treatment the affected diver is prohibited from undertaking further excursions to depths shallower than the saturation plateau.

Table 12

Treatment conditions.

Depth range		Hx
[fsw]	[mH ₂ O]	
0-60	0-18	100% _v O ₂
60-100	18-30	Hx 0.60 O ₂
100-200	30-60.5	Hx 0.38 O ₂
200-350	60.5-106	Hx 0.21 O ₂
350-600	106-181.5	Hx 0.13 O ₂
600-1000	181.5-303	Hx 0.08 O ₂
1000-1200	303-363.5	Hx 0.05 O ₂

Treatment helioxes

Since heliox, for which oxygen partial pressure ranges between $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$, may be used as a treatment mix, in order to secure the treatment process in saturation diving it is recommended to use **Hx** and oxygen with the composition specified separately for each depth range - tab.12.

DCS symptoms after decompression from the saturation plateau

Treatment of **DCS** symptoms observed during a rest following decompression from the saturation plateau should be carried out in accordance with standard principles related to the treatment of diving disorders with the air or oxygen-air methods.

Demand for treatment helioxes

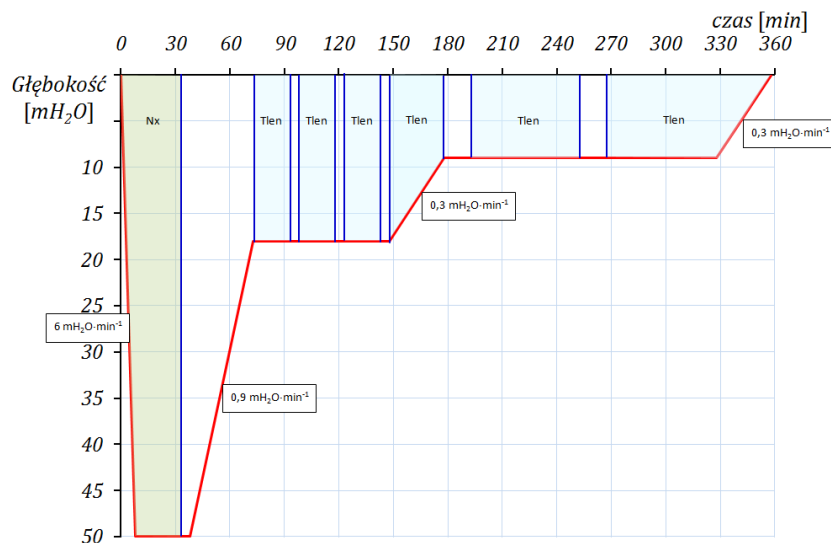
A treatment mix may be heliox, for which the oxygen partial pressure is defined by the range between $p_{\text{O}_2} \in [150; 280] \text{ kPa}$. In ensuring security of saturation dives it is important to calculate the demand for treatment helioxes. For example, it is necessary to determine the demand for the treatment **Hx** for 2 divers at the saturation plateau of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$.

Przy wystąpieniu objawów **DCS typu I** rekompresja o głębokość większą niż **9 mH₂O** nie jest najczęściej wymagana, lecz w przypadku objawów **DCS typu II** należy liczyć się z koniecznością głębszej kompresji. Przyjęto tutaj, że będzie to głębokość około trzykrotnie większa niż **9 mH₂O** czyli zakładana głębokość ulgi nie przekroczy **106 mH₂O**. Zgodnie z tab.12 dla głębokości **h = 106 mH₂O** należy zabezpieczyć trzy mieszaniny helioksove: **Hx 0,21 O₂**, **Hx 0,38 O₂** i **Hx 0,60 O₂**.

Praktycznie pytanie dotyczy objętości heliosów i tlenu V_0 odniesionych do warunków normalnych. Przyjmując, że podczas wszelkich operacji z gazami podczas nurkowania z plateau saturacji temperatura będzie taka sama $T = idem$, to równanie stanu dla gazów doskonałych przybierze formę równania Boyle'a–Mariottea: $p \cdot V = idem$. Stąd dla oczekiwanej wentylacji płuc \dot{V}_0 oraz przy założeniu, że nie ulega ona zmianie podczas zmiany głębokości $\dot{V}_0 \neq f(H) \rightarrow \dot{V}_0 \equiv \dot{V}$ można zapisać: $p_H^{max} \cdot \dot{V} \cdot \tau = p_0 \cdot V_0$ stąd wynika, że $V_0 = \frac{p_H^{max}}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$, gdzie: p_H^{max} – ciśnienie na maksymalnej dozwolonej głębokości użycia Hx , \dot{V} – założona wentylacja płuc, τ – czas leczenia, p_0 – ciśnienie normalne, V_0 – zapotrzebowanie na czynnik oddechowy odniesione do warunków normalnych. Przyjmując, że podczas leczenia nurek będzie wykonywał wysiłek lekki można przyjąć, że maksymalna wentylacja płuc będzie kształtowała się na poziomie $\dot{V}_0^{max} \equiv \dot{V} = 15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Najkrótsze leczenie trwa min. $\tau = 2 \text{ godz}$ stąd minimalne zapotrzebowanie na dwóch nurków na **Hx 0,60 O₂** wyniesie: $V_0 = 21,6 \text{ Nm}^3$. Na **Hx 0,38 O₂** wyniesie: $V_0 = 37,8 \text{ Nm}^3$. A na **Hx 0,21 O₂** wyniesie: $V_0 = 64,8 \text{ Nm}^3$. Zaś zapotrzebowanie na tlen, wyniesie: $V_0 = 15,1 \text{ Nm}^3$.

Dobłą praktyką jest to, że podczas planowania takiego jak tutaj nurkowania zabezpiecza się dodatkowo ponad 100% nadmiar czynnika oddechowego.

Stąd należy zabezpieczyć $V_0 = 130 \text{ Nm}^3$ **Hx 0,21 O₂**, $V_0 = 70 \text{ Nm}^3$ **Hx 0,38 O₂**, $V_0 = 50 \text{ Nm}^3$ **Hx 0,60 O₂** oraz $V_0 = 30 \text{ Nm}^3$ **O₂**.



Rys. 2. Tabela lecznicza **TT 64 USN** (US Navy diving manual, 2008).

From the saturation plateau of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ it is permissible to carry out an excursion to the maximum depth of $h^{\text{max}} = 60 + 22 = 82 \text{ mH}_2\text{O}$ ²⁹. Thus, it should be taken into account that the maximum treatment depth will be greater than the allowable excursion depth $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$. After an occurrence of *Type I DCS* symptoms, recompression by a depth greater than $9 \text{ mH}_2\text{O}$ is not usually required, however in the case of *Type II DCS* symptoms, presumably deeper compression will be necessary. Here, it was assumed that such a depth will be three times greater than $9 \text{ mH}_2\text{O}$, i.e. the relief depth will not exceed $106 \text{ mH}_2\text{O}$. According to **tab.12** for the depth of $h = 106 \text{ mH}_2\text{O}$ it is advised to secure three heliox mixes: $Hx 0.21 O_2$, $Hx 0.38 O_2$ and $Hx 0.60 O_2$.

In practice, the question concerns heliox and oxygen volume V_0 in relation to regular conditions. Assuming that in all operations with gases during dives from the saturation plateau will be carried out in the same temperature $T = \text{idem}$, the equation concerned with the state of perfect gases will take the form of Boyle-Mariotte's equation: $p \cdot V = \text{idem}$. Thus, for the expected lung ventilation \dot{V}_0 and assuming that it will not change during depth alteration $\dot{V}_0 \neq f(H) \rightarrow \dot{V}_0 \equiv \dot{V}$ it will be expressed as: $p_H^{\text{max}} \cdot \dot{V} \cdot \tau = p_0 \cdot V_0$, thus it results that $V_0 = \frac{p_H^{\text{max}}}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$, where: p_H^{max} – pressure at maximum allowable depth Hx , \dot{V} – assumed lung ventilation, τ – treatment time, p_0 – regular pressure, V_0 – demand for a breathing mix with reference to regular conditions. Assuming the diver's only exert light physical effort during the stay at the saturation plateau we may conclude that the maximum lung ventilation will reach $\dot{V}_0^{\text{max}} \equiv \dot{V} = 15 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. The shortest treatment should last at least $\tau = 2 \text{ hours}$ hence the minimum heliox demand for two divers in the case of $Hx 0.60 O_2$ will amount to: $V_0 = 21.6 \text{ Nm}^3$. In the case of $Hx 0.38 O_2$, on the other hand, it will reach: $V_0 = 37.8 \text{ Nm}^3$. Whereas in the case of $Hx 0.21 O_2$ it will reach: $V_0 = 64.8 \text{ Nm}^3$. The oxygen demand will be as follows: $V_0 = 15.1 \text{ Nm}^3$.

Good practice ensures a 100% surplus in the volume of the breathing mix in planning dives of this kind. Thus it is required to secure $V_0 = 130 \text{ Nm}^3 Hx 0.21 O_2$, $V_0 = 70 \text{ Nm}^3 Hx 0.38 O_2$, $V_0 = 50 \text{ Nm}^3 Hx 0.60 O_2$ as well as $V_0 = 30 \text{ Nm}^3 O_2$.

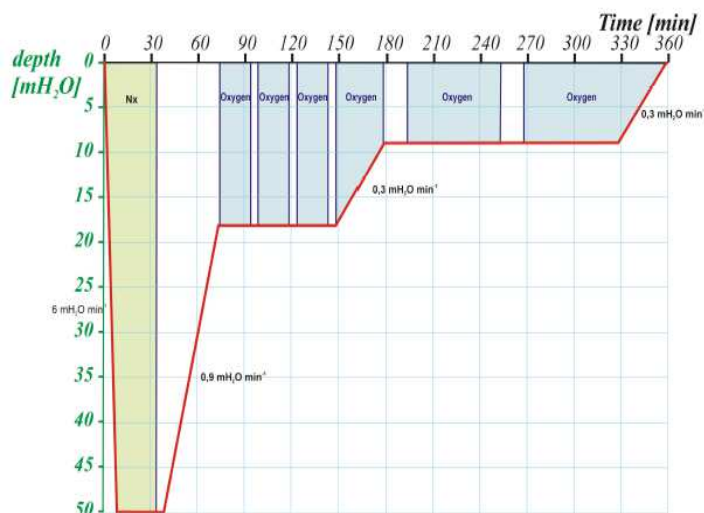


Fig. 2. Treatment table **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

²⁹ since tab. 8 does not provide for the plateau depth of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ it was decided to apply by the worst scenario method the allowable difference of depths $\Delta h = 22 \text{ mH}_2\text{O}$ for a shallower plateau depth of $H = 58 \text{ mH}_2\text{O}$ and add it to the plateau depth of $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ to obtain the maximum excursion depth of $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$; for a greater plateau depth enlisted in tab. 8 and reaching $H = 61 \text{ mH}_2\text{O}$ the allowable maximum excursion depth below the saturation plateau reaches $h^{\text{max}} = 84 \text{ mH}_2\text{O}$ and is greater than the one received through the above calculation. For this reason, by the worst scenario method it is required to select the smaller value equal to $h^{\text{max}} = 82 \text{ mH}_2\text{O}$.

Głębokość [mH ₂ O]	Czas [min]	Czynnik oddechowy	Ogólny czas	
			[godz:min]	[min]
0-50	8	Nitroks	0:08	8
50	25	Nitroks	0:33	33
50	5	Powietrze	0:38	38
50-18	35	Powietrze	1:13	73
18	20	Tlen	1:33	93
18	5	Powietrze	1:38	98
18	20	Tlen	1:58	118
18	5	Powietrze	2:03	123
18	20	Tlen	2:23	143
18	5	Powietrze	2:28	148
18-9	30	Tlen	2:58	178
9	15	Powietrze	3:13	193
9	60	Tlen	4:13	253
9	15	Powietrze	4:28	268
9	60	Tlen	5:28	328
9-0	30	Tlen	5:58	358

Rys. 2. cd. Tabela lecznicza **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

Zapotrzebowanie na tlen

Leczenie objawów **DCS** zaobserwowanych podczas odpoczynku po dekompresji z plateau saturacji odbywa się zgodnie z typowymi zasadami leczenia chorób nurkowych. Ważnym jest określenie orientacyjnego zapotrzebowanie na tlen do celów leczniczych, przykładowo dla 2 nurków. Praktycznie pytanie dotyczy objętości tlenu V_0 odniesionej do warunków normalnych dla najdłuższej procedury leczniczej – przedłużonej tabeli **TT 6A USN**. Tabelę rekompresji leczniczej **TT 6A USN** przedstawiono na rys. 2. Przyjmując, że podczas wszelkich operacji z gazami podczas nurkowania z plateau saturacji temperatura będzie taka sama $T = idem$, to równanie stanu dla gazów doskonałych przybierze formę równania Boyle'a–Mariottea: $p \cdot V = idem$. Stąd można zapisać: $V_0 = \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$, gdzie: p – ciśnienie na głębokości leczenia, \dot{V} – założona akcja oddechowa, τ – czas leczenia, p_0 – ciśnienie normalne, V_0 – zapotrzebowanie na czynnik oddechowy odniesione do warunków normalnych. Wyniki obliczeń zebrano w tab. 13. Dobrą praktyką jest utrzymywanie 100% zapasu nienaruszalnego tlenu: $140 Nm^3$.

Tabela 13

Zapotrzebowanie na tlen do leczenia według Tabeli rekompresji leczniczej **TT 6A USN**.

TLEN					
Wyszczególnienie	Liczba nurków	Czas pobytu	Przelicznik ciśnieniowy	Wentylacja płuc	Objętość
		[min]	[atm · atm ⁻¹]	[dm ³ · min ⁻¹]	[Nm ³]
Leczenie dla przedłużonego reżimu TT 6A USN	2	60	2,8	30	10,1
		40	2,8		6,7
		30	2,5		4,5
		120	1,9		13,7
	2	120	1,9		13,7
		30	1,6		2,9
		150	1,9		17,1
		30	1,6		2,9
RAZEM					71.6
co stanowi 12 butli 40 dm³ / 15,0 MPa					

Depth [mH ₂ O]	Time [min]	Breathing mix	Total time	
			[hour: min]	[min]
0-50	8	Nitrox	0:08	8
50	25	Nitrox	0:33	33
50	5	Air	0:38	38
50-18	35	Air	1:13	73
18	20	Oxygen	1:33	93
18	5	Air	1:38	98
18	20	Oxygen	1:58	118
18	5	Air	2:03	123
18	20	Oxygen	2:23	143
18	5	Air	2:28	148
18-9	30	Oxygen	2:58	178
9	15	Air	3:13	193
9	60	Oxygen	4:13	253
9	15	Air	4:28	268
9	60	Oxygen	5:28	328
9-0	30	Oxygen	5:58	358

Fig. 2.cont. Treatment table **TT 6A USN** (US Navy diving manual, 2008).

Oxygen demand

The treatment of **DCS** symptoms observed during a rest after decompression from the saturation plateau is carried out in accordance with standard principles related to the treatment of diving disorders. It is crucial to determine approximate oxygen demand for treatment purposes, for instance for 2 divers. A practical question concerns the oxygen volume V_0 as referred to regular conditions for the longest treatment procedures - an extended **TT 6A USN** table. The **TT 6A USN** treatment recompression table is presented in fig.2. Assuming that all operations with gases during dives from the saturation plateau will be carried out in the same temperature $T = idem$, the equation concerned with the state of perfect gases will take the form of Boyle-Mariotte's equation: $p \cdot V = idem$. Hence, we may record it as: $V_0 = \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V} \cdot \tau$, where: p – pressure at the treatment depth, \dot{V} – assumed respiratory activity, τ – treatment time, p_0 – regular pressure, V_0 – demand for a breathing mix in relation to regular conditions. Calculations results are shown in tab.13. Good practice ensures a 100% surplus in the inviolable oxygen reserve: $140 Nm^3$.

Table 13

Oxygen demand in the treatment according to the treatment recompression table. **TT 6A USN**.

OXYGEN					
Detailed procedure	Number of divers	Stay time	Pressure calculator	Lung ventilation	Volume
		[min]	[atm · atm ⁻¹]	[dm ³ · min ⁻¹]	[Nm ³]
Treatment for a prolonged regime TT 6A USN	2	60	2.8	30	10.1
		40	2.8		6.7
		30	2.5		4.5
		120	1.9		13.7
		120	1.9		13.7
		30	1.6		2.9
	2	150	1.9		17.1
	2	30	1.6		2.9
TOTAL					71.6
which corresponds to 12 cylinders of 40 dm³ / 15.0 MPa					

Tabela 14

Helioksove table dekompresyjne.

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
			Hx									Hx 0,5						O₂				
60 $x_{O_2}^{MAX} = 0,400$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	2:00																		0	0	
	20	2:00																		0	0	
	30	2:00																		0	0	
	40	2:00																		0	0	
	60	0:40															10	11	16	1		
	80	0:40															10	13	22	2		
	100	0:40															10	16	27	2		
	120	0:40														10	17	28	2			
			Hx									Hx 0,5						O₂				
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
			[mH ₂ O]																			

1 mH₂O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Table 14

Heliox decompression tables.

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																		Number of oxygen cycles
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<i>Hx</i>									<i>Hx 0.5</i>						<i>O₂</i>			
60 $x_{O_2}^{MAX} = 0.400$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:00																	0	0	
	20	2:00																	0	0	
	30	2:00																	0	0	
	40	2:00																	0	0	
	60	0:40														10	11	16	1		
	80	0:40													10	13	22	2			
	100	0:40													10	16	27	2			
	120	0:40													10	17	28	2			
			<i>Hx</i>									<i>Hx 0.5</i>						<i>O₂</i>			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) <u>5</u> (1993)32																					



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
70 $x_{O_2}^{MAX} = 0.400$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:20																	0	0	
	20	2:20																	0	0	
	30	2:20																	0	0	
	40	1:00															10	10	16	1	
	60	1:00															10	14	24	2	
	80	1:00															10	18	30	2	
	100	1:00															10	19	34	2	
120	1:00															10	21	37	2		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
80 $x_{O_2}^{MAX} = 0.380$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40																	0	0	
	20	2:40																	0	0	
	30	2:40															10	11	16	1	
	40	1:20															10	13	21	2	
	60	1:20															10	18	32	2	
	80	1:20															10	21	38	2	
	100	1:20															10	24	42	3	
120	1:20															10	25	45	3		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<i>Hx</i>										<i>Hx 0.5</i>					<i>O₂</i>			
70 $x_{O_2}^{MAX} = 0.400$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:20																		0	0
	20	2:20																		0	0
	30	2:20																		0	0
	40	1:00																10	10	16	1
	60	1:00																10	14	24	2
	80	1:00																10	18	30	2
	100	1:00																10	19	34	2
120	1:00																10	21	37	2	
[fsw]	[min]	[min]	<i>Hx</i>										<i>Hx 0.5</i>					<i>O₂</i>			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles		
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
			<i>Hx</i>										<i>Hx 0.5</i>					<i>O₂</i>				
80 $x_{O_2}^{MAX} = 0.380$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40																		0	0	
	20	2:40																		0	0	
	30	2:40																		11	16	1
	40	1:20																10	10	13	21	2
	60	1:20																10	18	32	2	
	80	1:20																10	21	38	2	
	100	1:20																10	24	42	3	
120	1:20																10	25	45	3		
[fsw]	[min]	[min]	<i>Hx</i>										<i>Hx 0.5</i>					<i>O₂</i>				
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1		
			[mH ₂ O]																			
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
100 $x_{O_2}^{max} = 0,323$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	3:20																	0	0	
	15	3:20																	0	0	
	20	2:00															10	11	17	1	
	30	2:00															10	15	24	2	
	40	2:00															10	18	32	2	
	60	2:00															10	25	44	3	
	80	2:00															10	28	52	3	
	100	2:00															10	31	56	3	
120	2:00															10	32	58	3		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
110 $x_{O_2}^{max} = 0,300$ $x_{O_2}^{min} = 0,140$	10	2:20														10	8	11	1		
	20	2:20														10	12	20	1		
	30	2:20														10	17	28	2		
	40	2:20														10	20	36	2		
	60	2:20														10	27	49	3		
	80	2:20														10	31	58	3		
	100	2:20														10	33	62	4		
	120	2:20														10	35	64	4		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx										Hx 0.5					O ₂			
100 $x_{O_2}^{MAX} = 0.323$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:20																		0	0
	15	3:20																		0	0
	20	2:00																10	11	17	1
	30	2:00																10	15	24	2
	40	2:00																10	18	32	2
	60	2:00																10	25	44	3
	80	2:00																10	28	52	3
	100	2:00																10	31	56	3
120	2:00																10	32	58	3	
[fsw]	[min]	[min]	Hx										Hx 0.5					O ₂			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx										Hx 0.5					O ₂			
110 $x_{O_2}^{MAX} = 0.300$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:20																10	8	11	1
	20	2:20																10	12	20	1
	30	2:20																10	17	28	2
	40	2:20																10	20	36	2
	60	2:20																10	27	49	3
	80	2:20																10	31	58	3
	100	2:20																10	33	62	4
	120	2:20																10	35	64	4
[fsw]	[min]	[min]	Hx										Hx 0.5					O ₂			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					



Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<i>Hx</i>									<i>Hx 0,5</i>						<i>O₂</i>			
120 $x_{O_2}^{MAX} = 0,280$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	2:40															10	9	13	1	
	20	2:40															10	14	23	2	
	30	2:40															10	19	33	2	
	40	2:40															10	23	42	3	
	60	2:40															10	30	55	3	
	80	2:40															10	34	63	4	
	100	2:40															10	36	66	4	
120	2:20															10	35	65	4		
[fsw]	[min]	[min]	<i>Hx</i>									<i>Hx 0,5</i>						<i>O₂</i>			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			<i>[mH₂O]</i>																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciśnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			<i>Hx</i>									<i>Hx 0,5</i>						<i>O₂</i>			
130 $x_{O_2}^{MAX} = 0,263$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	2:40														10	10	6	8	1	
	20	2:40														10	10	12	19	1	
	30	2:40														10	10	18	30	2	
	40	2:20														10	10	22	40	3	
	60	2:20														10	10	29	52	3	
	80	2:20													7	10	10	33	60	3	
	100	2:20													7	10	10	35	64	4	
120	2:20													7	11	11	35	66	4		
[fsw]	[min]	[min]	<i>Hx</i>									<i>Hx 0,5</i>						<i>O₂</i>			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			<i>[mH₂O]</i>																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
			Hx								Hx 0.5							O ₂		
120 $x_{O_2}^{MAX} = 0.280$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40															10	9	13	1
	20	2:40															10	14	23	2
	30	2:40															10	19	33	2
	40	2:40															10	23	42	3
	60	2:40															10	30	55	3
	80	2:40															10	34	63	4
	100	2:40															10	36	66	4
120	2:20															10	35	65	4	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5							O ₂		
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1
			[mH ₂ O]																	

1 mH₂O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
			Hx								Hx 0.5							O ₂		
130 $x_{O_2}^{MAX} = 0.263$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	2:40														10	10	6	8	1
	20	2:40														10	10	12	19	1
	30	2:40														10	10	18	30	2
	40	2:20														10	10	22	40	3
	60	2:20														10	10	29	52	3
	80	2:20													7	10	10	33	60	3
	100	2:20													7	10	10	35	64	4
120	2:20													7	11	11	35	66	4	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5							O ₂		
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1
			[mH ₂ O]																	

1 mH₂O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																	Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20
[fsw]	[min]	[min]	Hx							Hx 0,5							O ₂				
140 $x_{O_2}^{MAX} = 0,248$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:00													10	10	6	8	1		
	20	3:00													10	10	12	19	1		
	30	3:00													10	10	18	30	2		
	40	2:40												7	10	10	22	40	2		
	60	2:40												7	10	10	29	52	3		
	80	2:40												7	10	10	33	60	3		
	100	2:40												7	10	10	35	64	4		
120	2:40												7	11	11	35	66	4			
[fsw]	[min]	[min]	Hx							Hx 0,5							O ₂				
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dzień	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																	Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30		20
[fsw]	[min]	[min]	Hx							Hx 0,5							O ₂				
150 $x_{O_2}^{MAX} = 0,234$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:20													10	10	7	8	1		
	20	3:00													7	10	10	14	22	2	
	30	3:00													7	10	10	19	34	2	
	40	3:00													7	10	10	24	44	3	
	60	3:00													7	10	10	31	56	3	
	80	3:00													7	10	10	35	64	4	
	100	3:00													7	10	10	36	66	4	
120	3:00													7	11	11	36	66	5		
[fsw]	[min]	[min]	Hx							Hx 0,5							O ₂				
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
			Hx								Hx 0.5							O ₂		
140 $x_{O_2}^{MAX} = 0.248$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:00														10	10	6	8	1
	20	3:00														10	10	12	19	1
	30	3:00														10	10	18	30	2
	40	2:40													7	10	10	22	40	2
	60	2:40													7	10	10	29	52	3
	80	2:40													7	10	10	33	60	3
	100	2:40													7	10	10	35	64	4
120	2:40													7	11	11	35	66	4	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5							O ₂		
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1
			[mH ₂ O]																	

1 mH₂O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																	Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx								Hx 0.5							O ₂			
150 $x_{O_2}^{MAX} = 0.284$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:20														10	10	7	8	1	
	20	3:00														7	10	10	14	22	2
	30	3:00														7	10	10	19	34	2
	40	3:00														7	10	10	24	44	3
	60	3:00														7	10	10	31	56	3
	80	3:00														7	10	10	35	64	4
	100	3:00														7	10	10	36	66	4
120	3:00														7	11	11	36	66	5	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5							O ₂			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		

1 mH₂O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
160 $x_{O_2}^{MAX} = 0,222$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:20													7	10	10	8	10	1	
	20	3:20													7	10	10	15	24	2	
	30	3:20													7	10	10	21	37	2	
	40	3:20													7	10	10	26	47	3	
	60	3:00													7	10	10	30	56	3	
	80	3:00													7	10	10	35	66	4	
	100	3:00													7	10	10	35	66	5	
120	3:00													7	6	11	11	36	66	5	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
170 $x_{O_2}^{MAX} = 0,211$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:20													7	0	10	10	8	12	1
	20	3:20													7	0	10	10	16	28	2
	30	3:20													7	1	10	10	23	42	3
	40	3:20													7	4	10	10	28	52	3
	60	3:20													7	10	10	10	33	62	4
	80	3:20													9	14	14	14	35	66	4
	100	3:00													7	5	18	18	36	66	5
120	3:00													7	9	21	21	36	66	5	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40		30
			Hx								Hx 0.5						O ₂			
160 $x_{O_2}^{MAX} = 0.222$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:20													7	10	10	8	10	1
	20	3:20													7	10	10	15	24	2
	30	3:20													7	10	10	21	37	2
	40	3:20													7	10	10	26	47	3
	60	3:00													7	10	10	30	56	3
	80	3:00													7	10	10	35	66	4
	100	3:00													7	10	10	35	66	5
120	3:00													7	6	11	11	36	66	5
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1
			[mH ₂ O]																	
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																				

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles		
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40		30	20
			Hx								Hx 0.5						O ₂				
170 $x_{O_2}^{MAX} = 0.211$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:20													7	0	10	10	8	12	1
	20	3:20													7	0	10	10	16	28	2
	30	3:20													7	1	10	10	23	42	3
	40	3:20													7	4	10	10	28	52	3
	60	3:20													7	10	10	10	33	62	4
	80	3:20													9	14	14	14	35	66	4
	100	3:00													7	5	18	18	36	66	5
120	3:00													7	9	21	21	36	66	5	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂				
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych
			[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
180 $x_{O_2}^{MAX} = 0,201$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	3:40												7	0	10	10	9	14	1	
	20	3:40												7	0	10	10	17	30	2	
	30	3:40												7	4	10	10	25	45	3	
	40	3:20											7	0	8	10	10	30	54	3	
	60	3:20											7	5	11	11	11	35	64	4	
	80	3:20											7	9	15	15	15	36	66	4	
	100	3:20											7	13	19	19	19	36	66	5	
120	3:20											7	17	23	23	23	36	66	6		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂			
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych	
			[fsw]																			
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂				
190 $x_{O_2}^{MAX} = 0,192$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	4:00												7	0	10	10	10	15	1		
	20	3:40												7	0	2	10	10	19	34	2	
	30	3:40												7	0	7	10	10	26	46	3	
	40	3:40												7	4	9	10	10	31	56	3	
	60	3:40												7	9	13	13	13	34	62	4	
	80	3:20												7	3	13	18	18	18	36	66	5
	100	3:20												7	6	16	21	21	21	36	66	6
120	3:20												7	8	20	23	23	23	36	66	7	
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂				
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1		
			[mH ₂ O]																			
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																						

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles	
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																	
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
			Hx								Hx 0.5						O ₂			
180 $x_{O_2}^{MAX} = 0.201$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	3:40												7	0	10	10	9	14	1
	20	3:40												7	0	10	10	17	30	2
	30	3:40												7	4	10	10	25	45	3
	40	3:20											7	0	8	10	10	30	54	3
	60	3:20											7	5	11	11	11	35	64	4
	80	3:20											7	9	15	15	15	36	66	4
	100	3:20											7	13	19	19	19	36	66	5
120	3:20											7	17	23	23	23	36	66	6	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂			
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1
			[mH ₂ O]																	
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																				

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles		
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx								Hx 0.5						O ₂				
190 $x_{O_2}^{MAX} = 0.192$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	4:00												7	0	10	10	10	15	1	
	20	3:40												7	0	2	10	10	19	34	2
	30	3:40												7	0	7	10	10	26	46	3
	40	3:40												7	4	9	10	10	31	56	3
	60	3:40												7	9	13	13	13	34	62	4
	80	3:20												7	3	13	18	18	36	66	5
	100	3:20												7	6	16	21	21	36	66	6
120	3:20												7	8	20	23	23	36	66	7	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂				
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					



Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych									
			[fsw]																											
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20										
200 $x_{O_2}^{MAX} = 0,184$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	4:00																		7	0	0	10	10	11	17	1			
	20	4:00																		7	0	4	10	10	20	36	2			
	30	3:40																		7	0	3	7	10	10	27	50	3		
	40	3:40																		7	0	7	10	10	10	31	58	3		
	60	3:40																		7	4	10	14	14	14	35	66	4		
	80	3:40																		7	8	14	18	18	18	36	66	5		
	100	3:40																		7	12	17	23	23	23	36	66	6		
	120	3:40																		8	15	21	23	23	23	36	66	7		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂												
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	[mH ₂ O]									
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																														

Ciężnienie cząstkowe helu	Czas na dnie	Czas do pierwszej stacji	Stacje dekompresyjne																		Liczba cykli tlenowych									
			[fsw]																											
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20										
210 $x_{O_2}^{MAX} = 0,177$ $x_{O_2}^{MIN} = 0,140$	10	4:20																		7	0	0	0	10	10	12	19	1		
	20	4:00																		7	0	1	6	10	10	22	38	2		
	30	4:00																		7	0	6	7	10	10	29	53	3		
	40	3:40																		7	3	9	10	10	10	33	60	3		
	6	3:40																		7	0	9	11	17	17	35	66	5		
	80	3:40																		7	3	11	15	20	20	36	66	6		
	100	3:40																		7	6	14	19	23	23	36	66	7		
[fsw]	[min]	[min]	Hx									Hx 0,5						O ₂												
			57,6	54,5	51,5	48,5	45,5	42,4	39,4	36,4	33,3	30,3	27,3	24,2	21,2	18,2	15,2	12,1	9,1	6,1	[mH ₂ O]									
1 mH ₂ O=3,265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																														

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles		
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx								Hx 0.5						O ₂				
200 $x_{O_2}^{MAX} = 0.184$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	4:00												7	0	0	10	10	11	17	1
	20	4:00												7	0	4	10	10	20	36	2
	30	3:40												7	0	7	10	10	27	50	3
	40	3:40												7	0	7	10	10	31	58	3
	60	3:40												7	4	10	14	14	35	66	4
	80	3:40												7	8	14	18	18	36	66	5
	100	3:40												7	12	17	23	23	36	66	6
120	3:40												8	15	21	23	23	36	66	7	
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂				
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					

Helium partial pressure	Time at the bottom	Time until the first station	Decompression stations																Number of oxygen cycles		
[fsw]	[min]	[min]	[fsw]																		
			190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	
			Hx								Hx 0.5						O ₂				
210 $x_{O_2}^{MAX} = 0.177$ $x_{O_2}^{MIN} = 0.140$	10	4:20												7	0	0	10	10	12	19	1
	20	4:00												7	0	1	6	10	22	38	2
	30	4:00												7	0	6	7	10	29	53	3
	40	3:40												7	3	9	10	10	33	60	3
	6	3:40										7	0	9	11	17	17	17	35	66	5
	80	3:40										7	3	11	15	20	20	20	36	66	6
	100	3:40										7	6	14	19	23	23	23	36	66	7
[fsw]	[min]	[min]	Hx								Hx 0.5						O ₂				
			57.6	54.5	51.5	48.5	45.5	42.4	39.4	36.4	33.3	30.3	27.3	24.2	21.2	18.2	15.2	12.1	9.1	6.1	
			[mH ₂ O]																		
1 mH ₂ O=3.265 J.Zumrick. The USN Treatment Tables. The Journal for Technical Diving (aquaCorps) 5(1993)32																					



DYSKUSJA

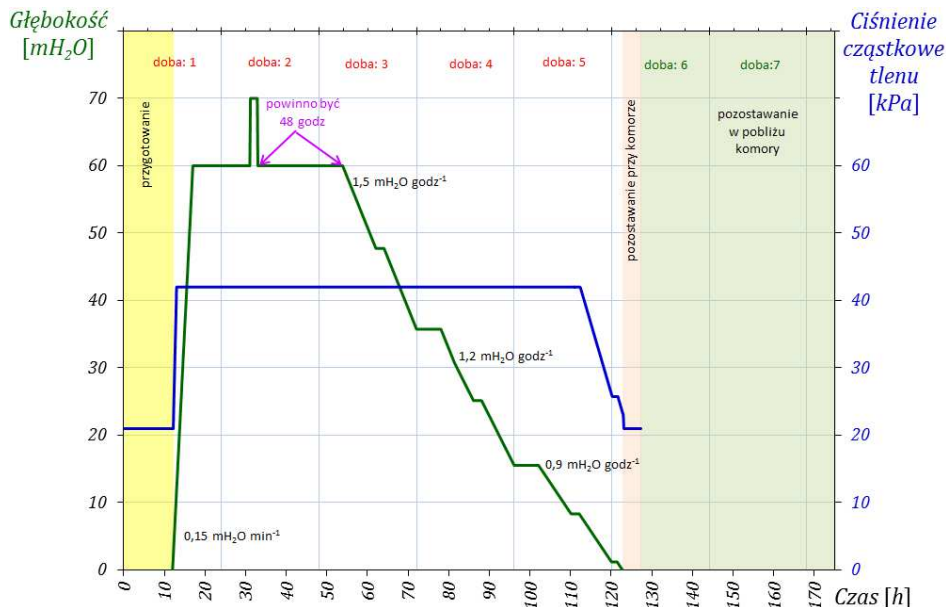
Zasady ochrony przeciwpożarowej, kontroli stanu atmosfery oddechowej, zabezpieczenia przed tlenową toksycznością płucną, postępowania na wypadek utraty kontroli temperatury, utraty kontroli ciśnienia, zabezpieczenia medycznego, kwalifikacji zdrowotnych nurków, przygotowania kondycyjno–adaptacyjnego, zachowania zasad higieny, prowadzenia dokumentacji, kontroli szczelności kompleksu, testu toksykologicznego kompleksu nie będą tutaj poruszane, gdyż zostały opisane wcześniej (R. Kłós, 2007).

AWARYJNE ZATRZYMANIE KOMPRESJI

Obecnie zaleca się stosowanie nowszej **tabeli Hx US Navy** – tab. 14 (US Navy diving manual, 2008). Wartością wyjściową do planowania dekompresji jest maksymalna osiągnięta głębokość i czas pobytu. Jeśli wstępna kompresja wykonywana była przy pomocy powietrza to czas do **60 min** spędzony na głębokości mniejszej niż **40 fsw (12 mH₂O)**, może być pominięty przy kalkulowaniu dekompresji. Podczas dekompresji należy utrzymywać ciśnienie cząstkowe tlenu we wdychanym przez maski BIBS awaryjnego czynnika dekompresyjnego w granicach **pO₂ ∈ [150 – 280] kPa**. Dekompresje należy prowadzić według rozkładu dekompresji jak to jest pokazane w tabeli. Szybkość przejścia pomiędzy stacjami powinna wynosić **40 fsw · min⁻¹ (12 mH₂O · min⁻¹)**.

PLAN ZABEZPIECZENIA LOGISTYCZNEGO W GAZY

W artykule została przeprowadzona przykładowa kalkulacja zapotrzebowania na gazy do zabezpieczenia podstawowego procesu nurkowania saturowanego oraz zabezpieczenie leczenia w trakcie saturacji i powstałych średnio-ciężkich przypadków po saturacji. Przykładowy profil nurkowania szkoleniowego przedstawiono na rys. 3. W tab. 15 podsumowano plan zabezpieczenia logistycznego w podstawowe materiały eksploatacyjne potrzebne do przeprowadzenia saturowanych nurkowań szkoleniowych dla personelu i nurków MWRP.



Rys. 3. Propozycja planu pojedynczego szkolnego nurkowania saturowanego. $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/\text{h} = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dni}$.

DISCUSSION

The principles regarding fire protection, inspection of the breathing atmosphere' status, protection against oxygen pulmonary toxicity, procedures in case of temperature control loss, pressure control loss, medical security, divers' health qualifications inspection, adaptive preparation, level of observance of the principles of hygiene, documentation maintenance, chamber complex tightness inspection and chamber complex toxicology test shall not be discussed here, as these matters have been described earlier (R. Kłos, 2007).

EMERGENCY COMPRESSION ARREST

At present it is recommended to apply the most recent *Hx US Navy Table* - tab.14 (US Navy diving manual, 2008).

The baseline value for planning decompression is the maximum depth reached by the diver and his stay time at this depth. In the case when initial compression is carried out with the use of air the time of up to **60 min** spent at a depth shallower than **40 fsw (12 mH₂O)** may be omitted in decompression calculation.

During the decompression it is required to maintain the oxygen partial pressure of the emergency decompression mix breathed in through BIBS masks within $p_{O_2} \in [150 - 280] \text{ kPa}$.

Decompressions should be conducted according to the decompression schedule presented in the table. Transition speed between the stations should amount to **40 fsw · min⁻¹ (12 mH₂O · min⁻¹)**.

LOGISTIC SECURITY PLAN REGARDING THE GAS SUPPLY

This article presents a sample calculation regarding gas demand calculation for securing a basic saturation diving process, as well as securing treatment during saturation and possible moderately severe DCS cases after the saturation. An exemplary training dive profile has been presented in fig.3. Tab.15 provides a summary logistic security plan in basic supplies required during training saturation dives with regard to personnel and Polish Navy divers.

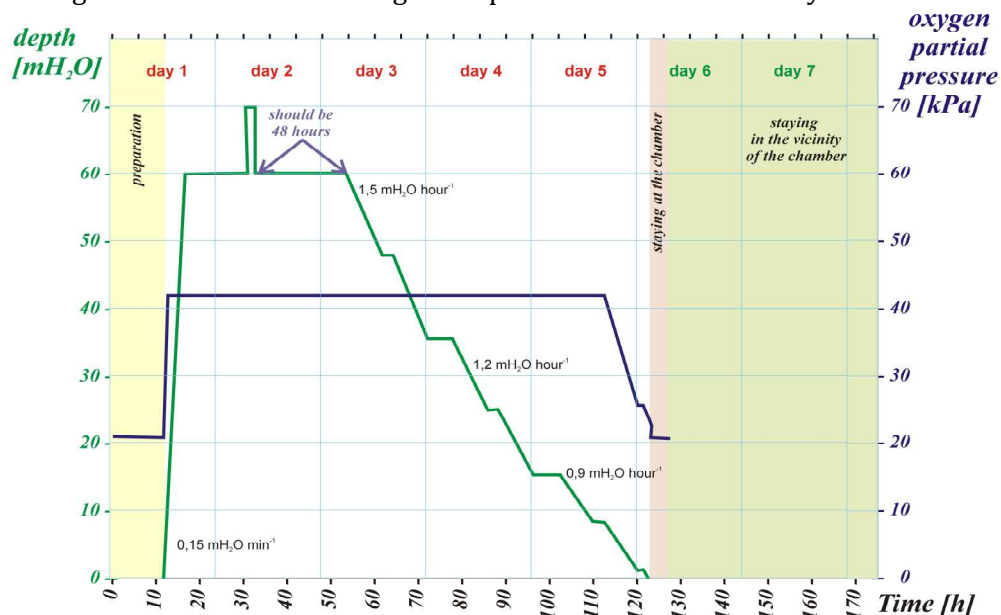


Fig. 3. Proposed shedule for a single training saturation dive. $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ days}$.

Tabela 15.

Podstawowe zapotrzebowanie materiałowe na saturację heliokszą $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dni}$ - rys.3.

Faza	Zapasy nienaruszalne						Zapasy na jedno nurkowanie							
	<i>He</i>	<i>Hx</i>				<i>O₂</i>	<i>WS</i>	<i>GW</i>	<i>He</i>	<i>Hx</i>		<i>O₂</i>	<i>WS</i>	<i>GW</i>
		0,60	0,38	0,21	0,13					0,21	0,13			
[Nm ³]	[Nm ³]				[Nm ³]	[kg]	[jedn]	[Nm ³]	[Nm ³]		[Nm ³]	[kg]	[jedn]	
Kompresja	215			51		4	2×96	1	215	51		4	1×96	1
Nurkowanie					2×14						14			
Dekompresja						45						45		
Leczenie		2×50	2×70	2×130		2×30								
Razem	215	579				109	192	1	215	65		49	96	1

WS –wapno sodowane; *GW* –gaz wzorcowy
nie uwzględniono zapasów gazów na dekompresję w przypadku przerwania kompresji do plateau saturacji

Table 15

Basic supply demand in heliox saturation $H = 60 \text{ mH}_2\text{O}/h = 70 \text{ mH}_2\text{O}/\tau = 5 \text{ dni}$ - fig. 3

Phase	Inviolable reserves						Reserves for a single dive							
	<i>He</i>	<i>Hx</i>				<i>O₂</i>	<i>WS</i>	<i>GW</i>	<i>He</i>	<i>Hx</i>		<i>O₂</i>	<i>WS</i>	<i>GW</i>
		0.60	0.38	0.21	0.13					0.21	0.13			
[Nm ³]	[Nm ³]				[Nm ³]	[kg]	[jedn]	[Nm ³]	[Nm ³]		[Nm ³]	[kg]	[jedn]	
Compression	215			51		4	2×96	1	215	51		4	1×96	1
Dive					2×14						14			
Decompression						45						45		
Treatment		2×50	2×70	2×130		2×30								
Total	215	579				109	192	1	215	65		49	96	1
<i>WS</i> –soda lime; <i>GW</i> –calibration gas gas reserves for decompression in case of compression arrest to the saturation plateau have not been considered														



WNIOSKI

Obecnie Marynarka Wojenna RP ma możliwość prowadzenia szkoleń w technologii nurkowań saturowanych, gdyż w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R00-00014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” powstała niezbędna baza i wiedza pozwalająca na ich realizację.

Jednak decyzja, co do rodzaju technologii realnie używanej przez Marynarkę Wojenną RP powinna być poprzedzona:

- analizą dotychczasowych polskich osiągnięć,
- warunkach prowadzenia akcji ratowania załóg okrętów podwodnych i innych akcjach,
- możliwościach przeżycia na okręcie podwodnym zwłaszcza gdy dojdzie na nim do podniesienia ciśnienia,
- warunkach udzielenia wsparcia polskiemu przemysłowi,
- zobowiązaniach sojusznicznych,
- studium wykonalności rozwiązań uznanych za optymalne dla sił zbrojnych.

Przeprowadzone analizy powinny stanowić wytyczne do opracowania systemu zabezpieczającego wytypowanych zadań i potrzebnej dla ich realizacji technologii prowadzenia prac podwodnych na platformie stanowiącej okręt ratowniczy.

OŚWIADCZENIE

Praca jest wynikiem wdrożenia przeprowadzonego w Akademii Marynarki Wojennej projektu badawczo-rozwojowego nr R00-00014/3 pt.: „Metodyka nurkowań saturowanych” finansowanego ze środków na naukę.

CONCLUSIONS

Currently, the Polish Navy has the opportunity of conducting training in saturation diving technology, as the research-development project No. R00–00014/3 entitled: "Saturation diving methodology" provided for the necessary database and knowledge, allowing for their implementation.

However, the decision concerning the actual technology type used by the Polish Navy should be preceded by an analysis of:

- previous Polish achievements in the field,
- conditions for carrying out rescue operations for submarine crews and other operations,
- survival possibilities on a submarine, especially in the situation of an increased pressure,
- conditions for supporting the Polish industry,
- alliance obligations,
- a feasibility study on solutions recognised as optimal for the armed forces.

The conducted analyses should constitute guidelines for the preparation of a system securing selected tasks and the required underwater works technologies in their realization on a rescue ship.

STATEMENTS

This work is a result of the implementation in the Polish Navy Academy of a research–development project no. R00–00014/3 entitled "Saturation diving methodology" financed from the educational fund.

BIBLIOGRAPHY

1. Miller J. W., Koblick I.G. 1984. *Living and working in the sea*. Melbourne: Van Nostrand Rein-hold Company Inc., 1984, ISBN 0-442-26084-9;
2. Przyłipiak M., Torbus J. 1981. *Diving equipment and works-handbook*. Warsaw: Ministry of Defence Publishing, 1981, ISBN 83-11-06590-X;
3. R., Kłos. 2007. Heliox saturation diving. Part I. *Polish Hyperbaric Research*. 2007, Vol. 20, 3, pp. 7-32;
4. Thomas S.W. 2010. Saturation Fly-Away Diving System (SAT FADS). *Faceplate*. 2010, Vol. October, pp. 8-9;
5. US Navy diving manual. 2008. *Collective work (revision 6)*. The Direction of Commander: Naval Sea Systems Command, 2008, 0910-LP-106-0957.

POLAND'S RESEARCH AND TECHNOLOGICAL ACTIVITY IN THE EUROPEAN DEFENCE AGENCY WITHIN MARITIME MINECOUNTERMEASURES

POLSKA AKTYWNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA W EUROPEJSKIEJ AGENCJI OBRONY W OBSZARZE TECHNOLOGII WALKI MINOWEJ

Michał Wierciński

Ministry of National Defence, Poland
Ministerstwo Obrony Narodowej

ARTICLE INFO

Journal: PolHypRes 2013 Vol. 44 Issue 3 pp. 65 – 78

ISSN: 1734-7009

eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR. 44.3

Pages: 14, figures: 2, tables: 0.

page **www of the periodical**: www.phr.net.pl

ABSTRACT

(in English)

This article presents Poland's involvement in the European Defence Agency's international research and technology programme entitled "European Unmanned Maritime Systems for Mine-Countermeasures". It will point out the main assumptions of the programme as well as the role of the Polish R&T entities in achieving its goals. Moreover, the article will demonstrate prospects for further maritime mine-countermeasure technology development in relation to Poland's naval needs.

(in Polish)

Artykuł przedstawia zaangażowanie Polski w realizację międzynarodowego programu naukowo-badawczego Europejskiej Agencji Obrony „Europejskie bezzałogowe systemy morskie do walki minowej”. Opisane w nim zostały główne założenia oraz cele programu, ze szczególnym uwzględnieniem roli biorących w nim udział polskich podmiotów naukowo-badawczych. Publikacja prezentuje również wizję dalszego rozwoju technologii walki minowej na potrzeby Marynarki Wojennej.

Keywords/Słowa kluczowe:

(in English): European Defence Agency, maritime mine-countermeasure technologies, unmanned maritime systems.

(in Polish): Europejska Agencja Obrony, technologie walki minowej, bezzałogowe systemy morskie.

Polish-English bilingual publication

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

ПОЛЬСКАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЕВРОПЕЙСКИМ ОБОРОНЫМ АГЕНТСТВЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ БОРЬБЫ С МИНАМИ

В статье представлена приверженность Польши в реализации международной программы научно-исследовательского Европейского оборонного агентства «Европейские беспилотные морские системы по борьбе с минами». В статье описываются основные предположения и цели программы, уделяя особое внимание роли участвующих в ней польских научно-исследовательских организаций. В публикации также представлено видение дальнейшего развития технологии по борьбе с минами на потребности Военно-Морского Флота.

Ключевые слова: Европейское оборонное агентство, технология по борьбе с минами, беспилотные морские системы.

BADANIA I ROZWÓJ NOWYCH TECHNOLOGII W EUROPEJSKIEJ AGENCJI OBRONY

Europejska Agencja Obrony (EDA) została powołana decyzją Rady Unii Europejskiej w 2004 r. w celu wspierania wysiłków państw członkowskich w zakresie poprawy ich zdolności obronnych¹. Cel ten realizuje poprzez promowanie i wzmacnianie europejskiej współpracy w obszarze uzbrojenia oraz zwiększanie efektywności realizacji badań i rozwoju nowych technologii obronnych. Podstawowym narzędziem kooperacji państw EDA w tym ostatnim zakresie są programy i projekty naukowo-badawcze. Wśród nich wyróżnia się dwie podstawowe kategorie. Pierwszą stanowią tzw. programy kategorii A charakteryzujące się tym, iż poszczególne państwa biorące w nich udział przesyłają swoje wkłady finansowe do wspólnego budżetu programu ustanowionego na rachunku bankowym EDA. Środki te są następnie przeznaczane na projekty, które wyłaniane są do realizacji w drodze prowadzonych przez Agencję postępowań konkursowych². Drugą formę współpracy naukowo-badawczej stanowią tzw. projekty kategorii B. Cechą, która odróżnia je od programów kategorii A jest to, iż państwa biorące w nich udział pokrywają wyłącznie koszty zadań wykonywanych przez krajowe podmioty naukowo-badawcze lub przemysłowe, wchodzące w skład międzynarodowego konsorcjum realizującego projekt. Środki finansowe, jakie dany kraj przeznacza na projekt kategorii B, nie są przesyłane na rachunek Agencji, lecz wypłacane bezpośrednio podmiotom krajowym po zakończeniu kolejnych etapów prac. W projektach kat. B nie występują postępowania konkursowe, a one same mają charakter zamawiany i są uruchamiane przez grupę zainteresowanych państw.

Końcowym rezultatem zdecydowanej większości programów i projektów naukowo-badawczych EDA są demonstratory technologii. Ich zadaniem jest zademonstrowanie potencjalnemu użytkownikowi końcowemu korzyści operacyjnych, jakie docelowo można osiągnąć zapewniając dalszy rozwój określonej technologii. Szczególny charakter demonstratorów polega na tym, iż po zakończeniu realizacji projektu przestają one de facto istnieć, gdyż każdy z podmiotów „odbiera” swój wkład, do którego zachowuje prawa własności. Wartość wyników osiągniętych za sprawą realizacji projektu polega zatem na tym, iż państwa biorące w nim udział zdobywają wiedzę oraz niezbędne know-how, które pozwala na dalsze rozwijanie określonych technologii w oparciu o krajowy potencjał naukowo-badawczy i przemysłowy. Należy podkreślić, iż umiejętne zaprogramowanie tej ścieżki przy wykorzystaniu zdefiniowanego w projekcie wspólnego standardu daje bardzo duże możliwości komercjalizacji wyników badań oraz sprzedaży produktu spełniającego wymagania użytkowników z wielu państw.

Od momentu powstania EDA polskie podmioty uczestniczyły we wszystkich programach kat. A³ oraz w 6 projektach kat. B⁴.

¹ Członkami EDA są obecnie wszystkie państwa członkowskie UE za wyjątkiem Królestwa Danii, które na podstawie art. 6 Traktatu o Unii Europejskiej, nie uczestniczy w opracowywaniu i wprowadzaniu w życie decyzji i działań Unii Europejskiej w zakresie obronności (tak zwana klauzula opt-out),

² Udział państw w programach kategorii A związany jest z ryzykiem uzyskania niekorzystnego poziomu zwrotu przemysłowego. Sytuacja taka ma miejsce wówczas, gdy podmioty krajowe, realizujące projekty wyłonione w ramach konkursów, wykonują zadania, których wartość jest niższa od finansowego wkładu poniesionego na udział w programie przez dane państwo. O skali zwrotu przemysłowego decyduje przede wszystkim jakość propozycji projektów naukowo-badawczych zgłaszanych przez międzynarodowe konsorcja,

³ Poza programem UMS są to: Obrona przez bronią masowego rażenia (CBRN protection) oraz Innowacyjne koncepcje i nowopowstające technologie (Innovative concepts and emerging technologies – ICET2).

⁴ Polska uczestniczy w następujących projektach kat. B: Europejskie zabezpieczone (Kodowane) programowalne radio (European secure software defined radio - ESSOR), Inteligentne radio do dynamicznego zarządzania widmem (Cognitive radio for dynamic spectrum management - CORASMA), Sieci wojskowe odporne na zakłócenia (Military disruption tolerant networks - MIDNET), System monitorowania i prognozy stanu technicznego struktury statku powietrznego z wykorzystaniem sieci czujników (Aircraft fuselage crack monitoring system and prognosis through on-board expert sensor network - ASTYANAX), Terahercowe platformy obrazujące do zdalnej detekcji IED (THz imaging phenomenology platforms for stand-off IED detection - TIPPSI) oraz Europejska sieć laboratoriów biologicznych (European biodefence laboratory network - EBLN),

THE EUROPEAN DEFENCE AGENCY'S RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES

The European Defence Agency (EDA) was appointed following a decision of the European Union Council in 2004 to support the member states in their effort to improve European defence capabilities¹. The goal is realized by both the promotion and enhancement of European armaments cooperation and improving the effectiveness of research and development of new defence technologies. The basic cooperation tool, between EDA member states concerned with the latter issue, consists in the establishment of various research and technology programmes and projects. They fall into two main categories, the first group comprises the so-called 'Category A Programmes' characterised by the fact that their funding is provided by contributing members to common programme budgets established on the EDA's bank account. The funds are then allocated to projects selected for implementation upon competition procedures carried out by the Agency². Another form of research and technology cooperation consists in the so-called 'Category B Projects'. A feature that distinguishes them from Category A programmes is the fact that the contributing members cover only the costs of activities realized by domestic research and technology or industrial entities which are a part of an international consortium responsible for project implementation. Funds allocated by a given member state to a particular Category B project are not transferred to the Agency's account but paid directly to national entities on completion of particular stages of works. Category B projects do not involve the implementation of competition proceedings; they are based on order and activated by a group of interested countries.

The end-products of the majority of the EDA's R&T projects consist of technology demonstrators. Their task is to demonstrate to a potential end-user the operational advantages behind the project, achievable through the continued development of a particular technology. The special character of demonstrators lies in the fact that upon project completion they, in fact, cease to exist, as each of the entities "collects" their contribution together with the related proprietary rights. Thus, the value of the results achieved through project realization is measured by the fact that the contributing member states obtain the knowledge and the necessary know-how allowing further development of specific technologies based on the domestic R&T and industrial potential. It needs to be emphasized that competent use of this pathway, combined with the application of common standards defined in the project, provides enormous possibilities for the commercialisation of the results of the research and subsequent marketing of a product that meets the requirements of users from multiple countries.

Since the establishment of the EDA, Polish entities have participated in all Category A programmes as well as several Category B projects. Currently, Poland participates in three Category A programmes³ and six Category B projects⁴.

¹ At present, EDA member states are all the member states of the EU with the exception of Denmark, which following the provisions of art. 6 of the Treaty on the European Union does not participate in the preparation and implementation of EU's defence-related decisions and activities (the so-called opt-out clause),

² Participation in Category A programmes involves the risk of an unfavourable industrial return level. Such a situation is likely to occur when particular domestic entities realizing projects selected upon competition perform tasks of a value exceeding the financial contribution allocated by the member state to a given programme in order to guarantee its participation in it. The industrial return level depends, first of all, on the quality of research and technology project proposals submitted by international consortia,

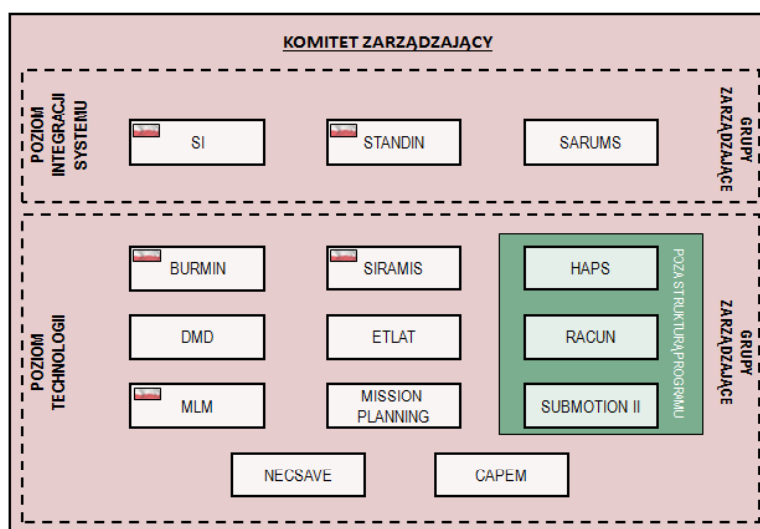
³ Besides the UMS programme the said research included: Chemical, Biological, Radiological and Nuclear defence (CBRN protection) and Innovative Concepts and Emerging Technologies (ICET2),

⁴ Poland participates in the following Cat. B projects: European Secure SOftware defined Radio (ESSOR), Cognitive Radio for Dynamic Spectrum Management (CORASMA), Military Disruption tolerant Networks (MIDNET), Aircraft fuselage crack monitoring systems and prognosis through on-board expert sensor network (ASTYANAX), THz Imaging Phenomenology Platforms for Stand-off IED detection (TIPPSI) and European Bio-defence Laboratory Network (EBLN).

Po ponad ośmiu latach polskiego uczestnictwa w pracach EDA, wkład finansowy do budżetów wszystkich inicjatyw realizowanych w obszarze badań i technologii obronnych przekroczył 30 milionów euro. Kwota ta jest relatywnie niewielka, zwłaszcza jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że dzięki niej uzyskano dostęp do wiedzy i wyników badań o wartości przekraczającej 260 milionów euro⁵.

CELE I ZAŁOŻENIA PROGRAMU

Propozycja udziału Polski w programie „Europejskie bezzałogowe systemy morskie do walki minowej” (European unmanned maritime systems for mine-counter-measures and other naval applications - UMS) została wypracowana w pierwszej połowie 2009 r., podczas spotkania jednego z 12 paneli technologicznych działających w Dyrektoracie EDA ds. Badań i Technologii⁶.



Rys. 1. Struktura Programu UMS.

Wstępna analiza projektów proponowanych do realizacji w ramach tego programu, umożliwiła Dowództwu Marynarki Wojennej wytypowanie obszarów badawczych, na których powinien się skupić polski wysiłek. Pozwoliło to na dalsze prowadzenie prac, których zwieńczenie nastąpiło w dn. 9 grudnia 2010 r., kiedy Minister Obrony Narodowej RP, wspólnie z ministrami obrony z pozostałych dziesięciu państw, podpisał w Brukseli stosowne porozumienie programowe. Wejście w życie tego dokumentu umożliwiło uruchomienie pierwszych projektów już w pierwszej połowie 2011 roku⁷. UMS to program kategorii A, którego zasadniczym celem jest wprowadzenie wspólnego standardu w zakresie technologii i urządzeń niezbędnych do budowy Autonomicznych Platform Nawodnych (APN) i Podwodnych (APP), a także innych aplikacji pozwalających na szybkie i bezpieczne wykrywanie oraz niszczenie min morskich.

⁵ Jest to suma wkładów wszystkich państw biorących udział w projektach EDA, w realizację których zaangażowana była również Polska,

⁶ Dyrektoriat ds. Badań i Technologii stanowi główne miejsce w strukturze EDA pozwalające na nawiązywanie współpracy państw członkowskich w zakresie realizacji wspólnych projektów i programów naukowo-badawczych, których celem jest rozwój technologii obronnych. Podstawowym instrumentem w tym zakresie są panele technologiczne (CAPTECH), w pracach których biorą udział eksperci poszczególnych państw członkowskich, w tym przedstawiciele sił zbrojnych oraz podmiotów naukowo-badawczych, a także europejskiego przemysłu. Rozwojem technologii morskich zajmuje się panel ESM 1 (Naval systems & their environment),

⁷ Program UMS realizują: Belgia, Finlandia, Francja, Hiszpania, Holandia, Niemcy, Polska, Portugalia, Szwecja, Włochy oraz nie będąca członkiem EDA Norwegia,

After over eight years of Poland's participation in the EDA's works, its financial contribution to the budgets of all initiatives realized within defence-related research and technology projects exceeds 30 million Euros. The amount is relatively small, particularly considering the fact that it provided access to the knowledge and research results of a total value exceeding 260 million Euros⁵.

PROGRAMME OBJECTIVES AND ASSUMPTIONS

The proposal concerned with Poland's participation in the programme, entitled “European unmanned maritime systems for mine-counter measures and other naval applications – UMS”, was a result of one of 12 meetings of technological panels operating within the EDA Directorate for Research and Technology held in the first half of 2009⁶.

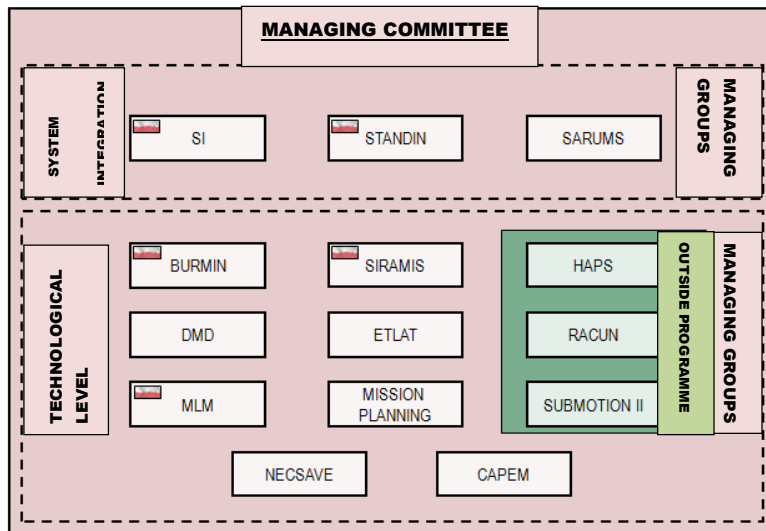


Fig. 1 UMS Programme structure.

Initial analysis of the projects suggested for implementation within the above programme enabled the Naval Command to designate research areas around which Polish efforts should be focused. This allowed the carrying out of further works, which resulted in the official signing of the programme agreement on December 9, 2010, by the Polish Minister of National Defence as well as Defence Ministers from the remaining ten member states. It's coming into force resulted in the activation of initial projects as early as the first half of 2011⁷.

The UMS is a Category A programme, whose primary objective rests in the introduction of common standards, within both the technology and equipment, necessary in the construction of Autonomous Surface Vehicles (ASV) and Autonomous Underwater Vehicles (AUV), as well as other applications allowing quick and safe detection and destruction of marine mines. Moreover, it encompasses preparation of technological demonstrators for particular maritime systems, such as sensors, mine detection and identification systems.

⁵ This is the amount including the contributions made by all the countries participating in EDA projects, in which Poland was also engaged,

⁶ The Research and Technology Directorate is the main place in the EDA's structure allowing the establishment of cooperation among member states within the implementation of shared R&T projects and programmes aimed at defence technology development. A fundamental instrument concerned with this scope of activity consists in the holding of technological panels (CAPTECH) attended by experts from particular member states, including representatives of military forces, R&T entities and European industry. The panel responsible for the development of naval systems is ESM 1 (Naval systems & their environment).

⁷ The UMS Programme is realised by the following member states: Belgium, Finland, France, Spain, Netherlands, Germany, Poland, Portugal, Sweden, Italy, and a non-EDA member - Norway.

Ponadto w jego ramach opracowywane są demonstratory technologii poszczególnych systemów walki minowej, takie jak sensory, systemy detekcji oraz identyfikacji min. W programie UMS jest realizowanych w sumie 11 pojedynczych projektów⁸. Oprócz tych, których realizacja ma się zakończyć demonstratorem, państwa uczestniczą w projektach, mających na celu wypracowanie wspólnych standardów pozwalających na zintegrowanie opracowanych w ramach programu technologii walki minowej. W programie UMS zakłada się również wykorzystanie wiedzy i doświadczeń płynących z realizacji innych projektów kategorii B zbieżnych z programem UMS, a których włączenie do programu nie było możliwe ponieważ ich realizacja rozpoczęła się jeszcze przed jego uruchomieniem.

FINANSOWANIE I ZARZĄDZANIE PROGRAMEM

Program UMS ma szczególny charakter z uwagi na model finansowania. Nie jest on typowym programem kategorii A. Co prawda składki państw uczestniczących zostały przekazane na rachunek bankowy Agencji, jednak państwa zapewniły sobie prawo zarówno do pełnej kontroli nad swoimi pieniędzmi, jak i do decydowania o tym, jakie projekty będą z nich finansowane. W programie UMS nie występuje zatem problem osiągnięcia niekorzystnego zwrotu przemysłowego, który jest charakterystyczny dla typowych programów kategorii A. UMS ma bowiem zdecydowanie więcej cech upodabniających go do projektów kategorii B z tą różnicą, iż funkcję krajowych instytucji płatniczych pełni w imieniu państw uczestniczących EDA.

Rozwiązanie przyjęte w programie UMS okazało się bardzo korzystne, gdyż w znacznym stopniu ułatwiło zarządzanie jego finansowaniem. Całkowity budżet programu wynosi obecnie ponad 53 miliony euro. Polska, z wkładem finansowym na poziomie 2,83 miliona euro, uplasowała się na piątym miejscu⁹. Należy również pamiętać o tym, iż ponad pół miliona euro w ramach tej kwoty to wartość rzeczowego wkładu polskich wykonawców. Polskie podmioty, kierując się zasadą współfinansowania badań, typową dla większości projektów EDA, zdecydowały się na wykorzystanie w trakcie swoich prac wyników badań finansowanych ze środków krajowych, a także laboratoriów i specjalistycznej aparatury znajdującej się w ich posiadaniu.

Program UMS wyróżnia również specyficzny model zarządzania. Jego ustanowienie wiązało się z podpisaniem tylko jednego porozumienia programowego przez wszystkie zainteresowane państwa. Objęło ono swoim zakresem wszystkie realizowane w programie projekty, które uruchamiane były wyłącznie w oparciu o kontrakty zawierane bezpośrednio pomiędzy EDA a liderami międzynarodowych konsorcjów.

⁸ Są to następujące projekty: Integracja systemów (Systems integration - SI), Standardy i interoperacyjność dla europejskich systemów bezzałogowych (Standard and interfaces for more interoperable European unmanned maritime systems - STANDIN), Zasady i regulacje w zakresie użycia bezzałogowych systemów morskich (Safety and regulations for European unmanned maritime systems - SARUMS), Miny zagrzebane i efekторы (Buried mines - BURMIN), Analiza wpływu pól fizycznych okrętów na wielokanałowe zapalniki min morskich (Signature response analysis of multi-influence mines - SIRAMIS), Wykrywanie min dryfujących (Drifting mines detection - DMD), Technologia anten holowanych (Evaluation of thin line array technologies - ETLAT), Lekkie modułowe trały niekontaktowe (Modular light-weight minesweeping - MLM), Zwiększenie autonomii bezzałogowych pojazdów podwodnych (Increased autonomy for AUV's - MISSION PLANNING), Działania pojazdów bezzałogowych w środowisku sieciocentrycznym (Network enabled cooperation system of autonomous vehicles - NECSAVE), Redukcja hałasu wytwarzanego przez systemy rozpoznania hydroakustycznego (Conformal array performance estimation modeling - CAPEM) oraz nie wchodzące w skład programu ale skoordynowane z nim pod względem merytorycznym Ochrona portów (Harbor and base protection systems - HAPS) i Systemy łączności podwodnej (Robust acoustic communications in underwater networks - RACUN), Analiza zjawisk fizycznych towarzyszących przemieszczaniu się okrętów podwodnych (Submarine coupled 6dof motions including boundary effects - SUBMOTION II),

⁹ Największe wkłady finansowe do programu UMS wniosły: Niemcy, Norwegia oraz Włochy (każde z tych państw wpłaciło ponad 9 milionów euro),

Altogether, the UMS programme is comprised of 11 separate projects⁸. Apart from those projects whose implementation is to be completed with a presentation of a demonstrator, member states also participate in projects aimed at determining common standards, allowing integration of counter mine technologies worked out in the course of the programme's execution. The UMS programme also assumes taking advantage of the knowledge and experience resulting from the implementation of other Category B projects convergent with the UMS programme, and whose inclusion in the programme was not possible as their implementation began before its activation.

PROGRAMME FINANCING AND MANAGEMENT

The character of the UMS programme is untypical due to the adopted financing model. It is not a standard Category A programme. Although contribution fees of the member states participating in it had been transferred to the Agency's bank account, the countries stipulated their right to maintain full control over their funds as well as to retain the decisive vote concerned with which projects they will be allocated to. Thus, in the UMS programme the issue of unfavourable industrial return, typically a characteristic of Category A programmes is non-existent. It may be assumed that the programme has more qualities normally assigned to Category B projects, with the main difference being that the function of national banking institutions is taken over by the EDA on behalf of the contributing member states.

The solution adopted for the UMS programme proved to be extremely favourable, as it significantly contributed to the facilitation of its financial management. Current programme budget amounts to over 53 million Euros. In this respect, Poland ranks fifth with a financial contribution of 2.83 million Euros⁹. It should also be remembered that over half a million Euros of the above amount constitutes the value of assets in kind provided by Polish contractors. Following the principle of research co-financing, characteristic of the majority of EDA projects, Polish entities decided to use in their works research results financed from national resources, as well as laboratories and the specialist equipment owned by them.

The programme is also distinguished by its specific management model. The establishment of the programme management involved the signing of a single programme agreement by all interested member states. Its scope covered all the projects implemented within the programme that were activated only on the basis of contracts concluded directly between EDA and international consortia leaders. This allowed the elimination of the requirement of entering into separate international agreements. All the member states contributing to the programme unanimously confirmed that the adopted solution enabled optimal reduction of formal effort connected with its activation.

Due to the complexity of the UMS programme and, at the same time, the necessity to coordinate the implementation of more than ten projects, it was quite a challenge to determine principles enabling the assurance of proper control and supervision. For this purpose it was decided to appoint a Managing Committee made up of representatives of particular ministries of defence. Its main task consists in monitoring programme implementation status by maintaining supervision over the established schedules.

⁸ The said projects include: Systems Integration (SI), Standards and interfaces for more interoperable European unmanned maritime systems (STANDIN), Safety and Regulations for European Unmanned Maritime Systems (SARUMS), Buried Mines (BURMIN), Signature Response Analysis of Multi-influence Mines (SIRAMIS), Drifting Mines Detection (DMD), Evaluation of Thin Line Array Technologies (ETLAT), Modular Light-weight Minesweeping (MLM), Increased autonomy for AUV's (MISSION PLANNING), Network Enabled Cooperation Systems for Autonomous Vehicles (NECSAVE), Conformal Array Performance Estimation Modelling (CAPEM), as well as those not included in the programme, however coordinated with it with regard to content: Harbour and Base Protection Systems (HAPS) and Robust Acoustic Communications in Underwater Networks (RACUN), Submarine coupled motions including boundary effects (SUBMOTION II),

⁹ The largest financial contributions were brought into the UMS programme by: Germany, Norway and Italy (each of these countries paid in over 9 million Euros),

Wyeliminowano tym samym potrzebę podpisywania odrębnych porozumień międzynarodowych. Wszystkie państwa uczestniczące w programie jednogłośnie podkreślają, iż przyjęte rozwiązanie ograniczyło do niezbędnego minimum wysiłek formalny związany z jego uruchomieniem.

W związku ze złożonym charakterem programu UMS oraz koniecznością skoordynowania równoczesnej realizacji kilkunastu projektów, dużym wyzwaniem było opracowanie zasad pozwalających na zapewnienie należytej kontroli i nadzoru. W tym celu ustanowiony został Komitet Zarządzający, składający się z przedstawicieli poszczególnych ministerstw obrony. Głównym zadaniem tego organu stało się monitorowanie stanu realizacji programu poprzez nadzorowanie ustalonych dla niego harmonogramów. Komitet czuwa również nad prawidłowością wydatkowania środków finansowych ze wspólnego budżetu oraz doradza Agencji w kwestiach związanych z dodatkowymi inicjatywami mającymi wspierać realizację programu. Polska jest reprezentowana w Komitecie przez przedstawiciela Departamentu Nauki i Szkolnictwa Wojskowego MON, który zapewnia koordynację i finansowanie udziału Polski w tym programie. Kolejny szczebel zarządzania stanowią Grupy Zarządzające (Project Management Group - PMG), które nadzorują realizację poszczególnych projektów. W trakcie przygotowywania udziału Polski w programie UMS uzgodniono, iż Dowództwo Marynarki Wojennej oddeleguje do udziału w tych grupach swoich przedstawicieli. Decyzja ta zapewniła Marynarce Wojennej możliwość bezpośredniego wpływania na kierunki prac badawczych, co ma szczególne znaczenie z punktu widzenia konieczności zapewnienia zbieżności wyników końcowych programu z potrzebami gestora przyszłych systemów walki minowej. Należy podkreślić, że podejście takie jest również zgodne z celami określonymi w Strategii działań resortu ON w obszarze badań i technologii obronnych z 2011 r., która zaleca zwiększenie stopnia udziału gestorów sprzętu wojskowego w realizacji badań naukowych¹⁰.

ZAKRES POLSKIEGO ZAANGAŻOWANIA

Decyzja dotycząca skali polskiego zaangażowania w realizowane w ramach programu UMS projekty wynikała z oczekiwań Dowództwa Marynarki Wojennej w stosunku do konkretnych rezultatów oraz ich potencjalnych operacyjnych zastosowań. Dodatkowo pod uwagę wzięto zarówno możliwości finansowe resortu obrony narodowej, jak i potencjał badawczy polskich podmiotów. O ostatecznym zakresie polskiego zaangażowania zdecydowała Rada Uzbrojenia – nieistniejące obecnie ciało doradcze Ministra Obrony Narodowej rekomendujące m.in. udział Polski w międzynarodowych programach badawczych¹¹.

Minister Obrony Narodowej, podpisując pod koniec 2010 r. porozumienie programowe, zdecydował o udziale Polski w pięciu projektach. Trzy z nich ukierunkowane są na opracowanie demonstratorów technologii. Pierwszym jest projekt SIRAMIS (Signature response analysis of multi-influence mines), w ramach którego prowadzone są badania obejmujące m.in. analizę pól fizycznych okrętów oraz zdefiniowanie wytycznych do modelowania wpływu okrętu na wielokanałowe zapalniki min morskich. Rezultaty projektu docelowo mają pozwolić na opracowanie w przyszłości modułu wspomaganie dowodzenia dla okrętów Marynarki Wojennej, który byłby wykorzystywany dla przeciwdziałania zagrożeniu ze strony min morskich. Kontrakt na realizację tego projektu został podpisany w marcu 2012 r. pomiędzy EDA a liderem międzynarodowego konsorcjum holenderską firmą TNO Defence. Polskim podmiotem uczestniczącym w jego realizacji jest Akademia Marynarki Wojennej (AMW).

¹⁰ Zwiększenie skali udziału przedstawicieli gestorów sprzętu wojskowego w całym cyklu badań naukowych ma być sposobem na lepsze zharmonizowanie rozwoju określonych technologii z potrzebami użytkownika końcowego,

¹¹ Rada Uzbrojenia składała się z szefów i dowódców 14 komórek i jednostek organizacyjnych resortu obrony narodowej. Od 2013 r. zgodę na udział Polski w międzynarodowych projektach i programach naukowo-badawczych wydaje Podsekretarz Stanu do spraw Uzbrojenia i Modernizacji w Ministerstwie Obrony Narodowej,

The Committee also acts as a guardian of proper allocation of funds from the common budget, and also as the Agency's consultant in matters related to supplementary initiatives intended to support programme realisation. The Polish Committee member is a representative of the Military Education Department of the Ministry of National Defence, which ensures the coordination and financing of Poland's participation in the programme. The next management level consists of Project Management Groups (PMG) providing supervision over the implementation of particular projects. In the preparatory phase concerned with Poland's participation in the UMS programme, it was decided that the Naval Command would designate its representatives as PMG members. This decision guaranteed the Polish Navy's direct impact on the line of research works, which is particularly significant with regard to the requirement of sustaining convergence of the programme's final results with the needs of future decision makers in matters related to mine-countermeasures. Let us emphasize that such an approach is also compliant with the objectives specified in the Strategy of the Department of National Defence, within defence-related research and technology of 2011, which recommends extended participation of the decision makers regarding military equipment in the implementation of technological research¹⁰.

THE SCOPE OF POLAND'S INVOLVEMEN

The decision concerning the scope of Poland's involvement in the projects implemented within the UMS programme was immediately related to the expectations formulated by the Naval Command with regard to specific results and their potential operational applications. Another factor concerned the financial possibilities of the Department of National Defence as well as research potential of Polish entities. The final scope of Poland's engagement was determined by the Council of Armament – a no-longer existing advisory body of the Minister of National Defence recommending, for instance, Poland's participation in international research programmes¹¹.

By signing the programme agreement at the end of 2010, the Minister of National Defence established the degree of Poland's involvement in five projects. Three of them are to result in the development of technology demonstrators. The first one is the SIRAMIS project (Signature Response Analysis of Multi-influence Mines), responsible for carrying out research encompassing an analysis of vessels and defining guidelines for future hull designs of vessels with a view to lowering their influence on multi-influence marine mines. It is expected that from the results of this project, a command support module for the Navy will be developed capable of counteracting threats related to floating mines. The project implementation contract was signed in March 2012 between the EDA and a Dutch company - TNO Defence, an international consortium leader. The Polish entity participating in its implementation is the Polish Naval Academy (AMW).

Tasks related to two other projects are realised by the Research and Development Centre for Marine Technology (OBR CTM). The BURMIN project (Buried Mines) focuses on filling in a technological gap within mine-countermeasures regarding the neutralization of the new generation of buried mines (including those hidden in sea bottom sediment), typically undetectable by commonly used hydroacoustic systems. The project is to result in a technology demonstrator of a towable set of magnetic and electromagnetic sensors for the ASV, as well as a technology demonstrator of a magnetic detection module for the AUV. The contract allowing for the commencement of works was signed at the end of April 2013 between the Agency and THALES Underwater Systems acting on behalf of an international consortium.

¹⁰ Their increased involvement in the entire technological research cycle is to guarantee better adjustment of decisions regarding the development of particular technologies to meet end-users' needs,

¹¹ The Council comprised of chiefs of staff and commanders of 14 organizational units of the Department. Since 2013, the consent to Poland's involvement in international R&T projects and programmes is issued by the Under-Secretary of State for Armament and Modernisation of the Ministry of National Defence,

W dwóch kolejnych projektach zadania realizuje Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej (OBR CTM). Projekt BURMIN (Buried mines) ukierunkowany jest na wypełnienie luki technologicznej w obszarze zwalczania najnowszej generacji min zagłębionych (w tym także ukrytych w osadach dna morskiego), które są niewykrywalne powszechnie wykorzystywanymi systemami hydroakustycznymi. W wyniku realizacji projektu zostanie opracowany demonstrator technologii holowanego zestawu sensorów magnetycznych i elektromagnetycznych dla APN, a także demonstrator technologii modułu do detekcji magnetycznej z przeznaczeniem dla APP. Kontrakt pozwalający na rozpoczęcie prac został podpisany pod koniec kwietnia 2013 r. pomiędzy Agencją a działającym w imieniu międzynarodowego konsorcjum THALES Underwater Systems. Z kolei w projekcie MLM (Modular light-weight minesweeping), OBR CTM realizuje zadania polegające na opracowaniu demonstratora technologii lekkiego modułowego trału niekontaktowego, przeznaczonego do neutralizacji wielokanałowych, niekontaktowych min morskich, który docelowo ma być również holowany za APN. W realizacji tego projektu wykorzystane będą bogate doświadczenia CTM w projektowaniu i budowie wielowzbudnikowego trału akustyczno-magnetycznego – PROMIENICA, który obecnie jest wykorzystywany w Marynarce Wojennej. Kontrakt został podpisany w grudniu 2011 r., a sam projekt realizowany jest przez międzynarodowe konsorcjum, na którego czele stoi norweski instytut FFI.

Zarówno AMW jak i OBR CTM zaangażowane są w projekty STANDIN (Standards and interfaces for more interoperable european unmanned maritime systems) oraz SI (System integration). Pierwszy z nich ma na celu opracowanie wspólnych standardów dla morskich systemów bezzałogowych co ma pozwolić na podniesienie stopnia interoperacyjności i innowacyjności opracowanych w trakcie programu technologii. W projekcie SI wysiłek badawczy jest z kolei ukierunkowany na stworzenie strategii integracji wszystkich elementów składowych programu UMS tj.: modułów funkcjonalnych, demonstratorów technologii, podsystemów transmisji danych, a także podsystemów sterowania APN i APP. W związku z tym, że zarówno STANDIN jak i SI mają na celu wyłącznie wymianę informacji pomiędzy ekspertami poszczególnych państw, ich rozpoczęcie możliwe było już w pierwszym kwartale 2011 roku. Oba projekty stały się także platformą dyskusji na temat nowych propozycji projektów, które można by było włączyć do programu UMS w kolejnych latach. Biorąc pod uwagę efektywność rozwoju technologii w ramach programu UMS, Ministerstwo Obrony Narodowej wspólnie z Akademią Marynarki Wojennej oraz Politechniką Krakowską zainicjowało prace nad rozszerzeniem zakresu technicznego programu o projekt pod kryptonimem SABUVIS (Swarm of biomimetic underwater vehicles for underwater intelligence surveillance and reconnaissance).



Rys. 2. Demonstrator technologii biomimetycznego pojazdu podwodnego z napędem falowym.

Within the MLM project (Modular Light-weight Minesweeping), on the other hand, OBR CTM fulfils tasks consisting in the development of a technology demonstrator in the form of a light-weight minesweeping module intended for the neutralization of multi-influence non-contact marine mines to be towed by AUVs. The project will be implemented on the basis of CTM's rich experience in the design and construction of PROMIENICA (RADIOLARIAN) - a multi-inductor acoustic-magnetic minesweep, currently used by the Navy. The contract was signed in December 2011, and the project itself is implemented by an international consortium led by a Norwegian institute - FFI.

Both the AMW and OBR CTM are engaged in the STANDIN (Standards and Interfaces for more interoperable European unmanned maritime systems) and the SI (System Integration) projects.

The objective of the former is to work out common standards for marine unmanned systems to enable an enhancement of interoperability and innovativeness of technologies developed in its course. In the SI project, on the other hand, the efforts are focused on developing an integration strategy for all the component parts of the UMS programme, i.e. functional modules, technology demonstrators, data transmission subsystems, and control subsystems for the ASV and AUV. Due to the fact that both the STANDIN and the SI projects are based entirely on information exchange among experts from particular countries, their commencement was possible already in the first quarter of 2011. Both projects have also provided a platform for discussion on new project proposals, whose implementation into the UMS programme would be possible in future years.

Considering the high effectiveness of technological development within the UMS programme, the Ministry of National Defence in liaison with the Polish Naval Academy and the Technological University in Cracow have initiated works on an extension of the programme's technical scope with a project known as SABUVIS (a swarm of bio-mimetic underwater vehicles for underwater intelligence surveillance and reconnaissance). Its target goal is to construct heterogeneous, autonomous, bio-mimetic underwater vehicles equipped with proper sensors as well as communication and navigation devices. The vehicles would be used in the realisation of selected operational scenarios related to underwater reconnaissance, including the identification and neutralization of floating mines. The implementation of the SABUVIS project is particularly significant, as it would be the first in the history of Poland's contribution to the EDA's works where it could act as the appointed leader. It would also be a project of a novel character as it concerns a concept, so far not investigated by the EDA, regarding the application of unmanned underwater vehicles with a harmonic drive in the execution of complex reconnaissance and combat missions.



Fig. 2. Technology demonstrator for a bio-mimetic underwater vehicle with harmonic drive.

Jego celem będzie zbudowanie heterogenicznych, autonomicznych, biomimetycznych pojazdów podwodnych wyposażonych w odpowiednie sensory oraz urządzenia do łączności i nawigacji. Pojazdy te mogłyby być wykorzystywane w realizacji założonych scenariuszy operacyjnych rozpoznania podwodnego, w tym również do identyfikacji i neutralizacji min morskich. Projekt SABUVIS jest o tyle istotny, iż byłby pierwszym w historii udziału Polski w pracach EDA, w którym liderem byłaby Polska. Byłby to również projekt o nowatorskim charakterze, gdyż dotyczyłby nie rozważanej do tej pory w ramach EDA koncepcji wykorzystania bezzałogowych pojazdów podwodnych o napędzie falowym do realizacji złożonych misji zarówno rozpoznawczych, jak i bojowych.

WDRAŻANIE WYNIKÓW PROGRAMU

Dowództwo Marynarki Wojennej pokłada bardzo duże nadzieje w technologiach rozwijanych w ramach programu UMS. Należy podkreślić, iż zakres polskiego zaangażowania jest zbieżny zarówno z Planem Rozwoju Marynarki Wojennej w latach 2009 – 2018, jak i z Koncepcją Rozwoju Marynarki Wojennej, która przewiduje pozyskanie w przyszłości systemów poszukiwania i zwalczania min morskich. Wprowadzenie ich na wyposażenie polskiej floty jest niezbędnym elementem warunkującym wywiązanie się Polski z sojuszniczych zobowiązań. Marynarka Wojenna, aby móc realizować wspólne (w ramach NATO i UE) działania obrony przeciwminowej (OPM), musi posiadać zdolność do wykrywania, klasyfikacji i identyfikacji min morskich w różnych warunkach środowiskowych, a także zdolność do skutecznego ich niszczenia.

Program UMS stanowi zatem szansę na wyposażenie Marynarki Wojennej w najnowsze systemy walki minowej, które zostaną opracowane w oparciu o europejskie standardy i technologie. Należy jednakże pamiętać o tym, iż wdrożenie tych technologii będzie możliwe wyłącznie wtedy, kiedy zapewni się dalszy ich rozwój w kraju np. w ramach pracy rozwojowej.

Szansę takie stwarza program pod nazwą „Bezzałogowe, morskie platformy podwodne i nawodne, wspomagające działania okrętów OPM i platform niededykowanych w działaniach przeciwminowych”. Został on zgłoszony do realizacji w ramach Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) przez Ministra Obrony Narodowej w maju 2013 roku. Jego celem będzie opracowanie rodziny APN i APP, a także systemów wykrywania, klasyfikacji, identyfikacji, niszczenia i neutralizacji min morskich dla tych pojazdów. Wyniki programu UMS zostaną w głównej mierze wykorzystane na rzecz rozwoju APN w wersji rozpoznawczej oraz w wersji identyfikacji i niszczenia min, w tym min dryfujących i zagrzebanych.

PODSUMOWANIE

Udział Polski w programie UMS jest niewątpliwą szansą zarówno dla Marynarki Wojennej jak i dla polskich podmiotów naukowo-badawczych biorących udział w realizacji poszczególnych projektów. Opracowane w jego wyniku technologie przyczynią się do pozyskania najnowszych systemów walki minowej, opracowanych w oparciu o wspólne standardy ustalone na poziomie europejskim. Udział w tym programie stwarza możliwości podniesienia poziomu kompetencji oraz zwiększenia rozpoznawalności polskich podmiotów w międzynarodowym środowisku. Aktywność polskich naukowców powinna ułatwić im udział w przyszłych projektach i programach realizowanych np. w ramach Unii Europejskiej czy też NATO.

Decyzja o polskim udziale w programie UMS była słuszna. Pozwoliła na uzyskanie wiedzy oraz wyników, których wartość jest znacznie większa aniżeli koszty jakie Polska poniosła na udział w tej inicjatywie. Nie można również zapominać o szansach, jakie udział w programie stwarza dla polskiego przemysłu. Zdolność do produkcji wybranych systemów walki minowej w oparciu o ustalone na poziomie europejskim standardy, może znacząco wpłynąć na atrakcyjność polskiej oferty handlowej, którą będą interesować się nie tylko odbiorcy krajowi, ale również zagraniczni.

IMPLEMENTATION OF PROGRAMME RESULTS

The Naval Command has great confidence in the validity of technologies developed within the UMS programme. It should be stressed that the level of Poland's involvement remains convergent both with the Schedule for Naval Development for the years 2009 - 2018 and the Naval Development Concept aimed at future advancement of mine detection and destruction systems. Their presence within the Polish fleet's array of equipment is an indispensable element guaranteeing Poland's fulfilment of its alliance obligations. In order to be able to implement common activities (within NATO and the EU) regarding mine-countermeasures, the Polish Navy needs to be in the possession of the necessary capabilities for the detection, classification and identification of floating mines in different environmental conditions, as well as for their efficacious destruction.

Hence, the UMS programme gives the Polish Navy the opportunity to become equipped with modern mine-countermeasures systems that will be developed on the basis of European standards and technologies. At the same time, however, it should be remembered that the implementation of such technologies will be possible only with the assurance of their further development in a given country, e.g. within continued developmental works. Such opportunities are provided by a programme entitled: "Unmanned maritime surface and underwater vehicles supporting the MCM ships and other non-dedicated platforms in counter mine activities". It was recommended for implementation within the frameworks of the National Research and Development Centre (NRDC) by the Minister of National Defence in May 2013. Its objective rests in the development of a family of AUVs and ASVs, as well as mine detection, classification, identification, destruction and neutralization systems to be provided in them. The results of the UMS programme will be mainly used for the development of AUVs for reconnaissance activities, and AUVs used in mine identification and destruction, including buried and drifting mines.

CONCLUSION

Undoubtedly, Poland's participation in the UMS programme creates a great opportunity both for the Polish Navy and for Polish research and technology entities taking part in the implementation of particular projects. Technologies that will result from the programme will allow acquisition of the newest counter mine systems worked out on the basis of common standards determined on the European level. Participation in the programme produces the opportunity to raise the competence level and improve recognition of Polish entities in an international environment. The involvement of Polish scientists should facilitate their participation in future projects and programmes realised, for instance, within the European Union or NATO.

Thus, the decision on Poland's contribution in the UMS programme is fully justified. It has allowed the gathering of knowledge and results, the value of which significantly exceeds the material costs incurred with regard to Poland's ability to participate in this initiative. We should also remember the opportunities such participation provides for Polish industry. The ability to produce selected counter mine systems based on European standards may have a significant impact on the attractiveness of a Polish commercial offer for both the domestic and foreign recipients.

BIBLIOGRAPHY

1. Wierciński M., "Poland's participation in the UMS programme of the European Defence Agency", a report presented at Balt Military Expo, Gdańsk, 28 June 2012.
2. Morawski M., Malec M., Szymak P., Trzmiel A., "Analysis of Parameters of Traveling Wave Impact on the Speed of Biomimetic Underwater Vehicle", Solid State Phenomena, Trans Tech Publication, approved for print.

dr Michał Wierciński

Ministerstwo Obrony Narodowej
al. Niepodległości 218, 00-911 Warszawa,
tel. 22 6 846 862,
e-mail: mwiercinski@mon.gov.pl

UNDERWATER TASK PERFORMANCE DURING AN EXAMINATION**SKUTECZNOŚĆ WYKONANIA ZADANIA POD WODĄ W SYTUACJI EGZAMINACYJNEJ**

Wojciech Wiesner, Michał Niedziela

Physical Education Academy in Wrocław, Poland
Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

ARTICLE INFO

Journal: PolHypRes 2013 Vol. 44 Issue 3 pp. 79 – 96**ISSN:** 1734-7009**eISSN:** 2084-0535**DOI:** [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.44.4](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.44.4)

Pages: 18, figures: 2, tables: 3.

page www of the periodical: www.phr.net.pl**Keywords/Słowa kluczowe:***(in English):* rescue of a drowning person, rescue operation, diving.*(in Polish):* ratowanie tonących, akcja ratunkowa, nurkowanie.**Polish-English bilingual publication****Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

ABSTRACT

(in English)

An operation aimed at saving a drowning person's life, irrespective of the conditions in which it is undertaken, will always carry traits of a problem situation. This is particularly evident in a situation of a rescuer's direct contact with the victim. Diving with the purpose of reaching a drowned person or searching the bottom of a body of water involves the necessity of performing it on a single breath, which disturbs the natural functioning of an organism. How does this factor affect the efficiency of rescuer's work?

In order to investigate this matter a natural experiment was carried out on a single group consisting of participants of central training courses for the highest WOPR (Volunteer Water Rescue Service) rescue and instructor ranks. The research was implemented in the WOPR premises "Tama" at Rajgodzkie Lake, during an examination test. It involved comparing the efficiency of a standard rescue operation with that of a rescue operation which incorporated a problem situation – this being the performance of a single logical process at the depth of approximately 150 cm.

(in Polish)

Akcja ratowania tonącego, niezależnie od warunków w jakich jest prowadzona, zawsze nosi znamiona sytuacji trudnej. Szczególnym jej przypadkiem jest sytuacja, w której dochodzi do bezpośredniego kontaktu z osobą zagrożoną. Nurkowanie w celu dopłynięcia do osoby utopionej lub przeszukiwanie dna odbywa się wówczas w warunkach bezdechu, co zakłóca normalne funkcjonowanie organizmu. Czy to utrudnienie wpływa na zmianę skuteczności działania ratowników?

W tym celu przeprowadzony został eksperyment naturalny techniką jednej grupy, z udziałem uczestników kursów centralnych na najwyższe stopnie ratownicze i instruktorskie WOPR. Badania przeprowadzono w ośrodku podlaskiego WOPR „Tama” nad jeziorem Rajgodzkim, podczas testu egzaminacyjnego. Porównano skuteczność akcji ratunkowej o standardowym schemacie przebiegu z akcją ratunkową zawierającą element sytuacji trudnej – wykonanie na głębokości około 150 cm pod wodą prostej operacji logicznej.

The summary in Russian on end of the publication

WSTĘP

Akcja ratunkowa w wodzie to zespół działań ratowników służących ratowaniu życia osoby tonącej. Ze względu na działanie ratownika, akcję ratunkową można przeprowadzić bezpośrednio w wodzie i w sposób pośredni (Wiesner, Kowalewski 2000). Akcja bezpośrednio w wodzie wymaga wejścia ratownika do wody i jego kontaktu z osobą ratowaną. Ratownik jest narażony na duże niebezpieczeństwo wynikające z aktywnego zachowania tonącego (Avramidis, Butterly, Llewellyn 2006, Griffiths, Steel, Vogelsong, 1999, Michniewicz 2009, Parnicki, Siłakiewicz, 2004, Pia 1974, 1999, Wiesner, Skalski, Kowalewski 2007).

W akcji ratunkowej prowadzonej w sposób pośredni pomoc udzielana jest z brzegu, pomostu, jednostki pływającej, zazwyczaj przy użyciu różnego rodzaju sprzętu ratunkowego. Zgodnie z zasadą bezpieczeństwa ratownika nie ma on bezpośredniego kontaktu w wodzie z osobą tonącą (Wiesner, Kowalewski 2000).

W procesie szkolenia ratowników akcja ratunkowa stanowi ważne zadanie egzaminacyjne, podczas którego weryfikacji podlegają wiedza i umiejętności ratownicze. Odbywa się ona w warunkach pozorowanych, jako symulacja. Wartość praktyczna takiego zadania egzaminacyjnego uzależniona jest od stopnia podobieństwa symulowanej akcji ratunkowej do rzeczywistych warunków procesu tonięcia. Dlatego egzaminator bardzo często wprowadza do egzaminacyjnej akcji ratunkowej różnego rodzaju modyfikacje. Nie mogą one, oczywiście, narażać na niebezpieczeństwo utraty zdrowia i życia osób egzaminowanych.

W prezentowanych badaniach analizie poddano skuteczność działania ratowników w trakcie takiej akcji egzaminacyjnej. Dodatkowym zadaniem modyfikującym przebieg akcji, było wykonanie prostej operacji logicznej na głębokości około 150 cm pod wodą¹. Celem badań było poznanie i wyjaśnienie skuteczności wykonania zadania pod wodą oraz związku tego działania z przebiegiem całej akcji ratunkowej.

Skuteczność działania oznacza zgodność wyniku z celem, a działanie skuteczne to takie, które prowadzi do zamierzonego celu (Kotarbiński 1982). W zależności od rodzaju celu, który może być stopniowalny albo niestopniowalny, działania rozpatruje się jako skuteczne lub nieskuteczne (cel niestopniowalny). Przyjmuje się także, że działanie może być mniej lub bardziej skuteczne, gdy założony cel jest stopniowalny (Łasiński 2003, Łasiński, Głowicki 2010, Panfil 2006). W badaniach założyliśmy niestopniowalność skuteczności działania ratowników w odniesieniu do wykonania zadania pod wodą (wykonał – nie wykonał), natomiast analizując szybkość przeprowadzenia całej akcji ratunkowej, która jest stopniowalna, uwzględniliśmy stopniowalność skuteczności działań ratowniczych. *„Im działanie posiada mniej cech negatywnych, im więcej pozytywnych i to w najwyższym stopniu – tym jest ono skuteczniejsze”* (Pszczółowski 1982 str. 33).

MATERIAŁ I METODA

W badaniach zastosowano eksperyment techniką jednej grupy (Rubacha 2008). Przedmiotem badań była symulowana akcja ratunkowa w formie zadania egzaminacyjnego (Ryc. 1.)

¹ Przeprowadzony eksperyment stanowi fragment obszernych badań realizowanych przez niedzielę w ramach przygotowywanej dysertacji (Niedziela 2013),

INTRODUCTION

A rescue operation in water consists of a number of rescue activities aimed at saving a drowning person's life. With regard to the rescuer's activity, an operation may be carried out in water or in an indirect manner (Wiesner, Kowalewski 2000). An operation in water requires that the rescuer enters water and has a direct contact with the victim. In such a case the rescuer will be at risk due to the drowning person's active behaviour (Avramidis, Butterly, Llewellyn 2006, Griffiths, Steel, Vogelsong, 1999, Michniewicz 2009, Parnicki, Siłakiewicz, 2004, Pia 1974, 1999, Wiesner, Skalski, Kowalewski 2007).

In an indirect rescue operation help is provided from the shore, pier, boat or another vessel, commonly with the use of various types of rescue equipment. According to safety regulations, in such a situation the rescuer has no direct contact with the drowning person in water (Wiesner, Kowalewski 2000).

In the course of rescuer training, a rescue operation constitutes an important examination task allowing verification of the participants' knowledge and skills. The exam takes the form of a simulation. Its practical value depends on the closeness with which the simulated rescue operation mimics the actual conditions accompanying a real incident. In order to replicate the stress a potential rescuer would face in real life, the examiners introduce numerous modifications to the rescue operation simulated during the exam. Of course, simulated scenarios must not pose any threat to the life and health of those undertaking the examination.

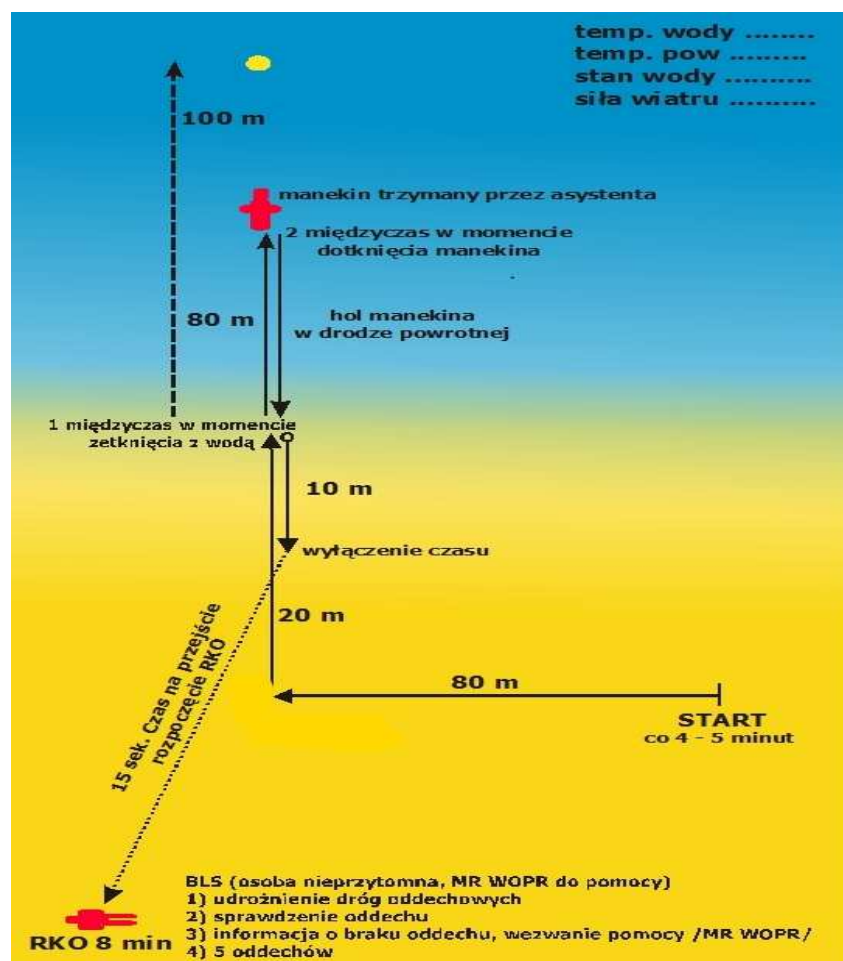
The presented research consisted of an analysis of the rescuers' efficiency during an examination procedure. An additional task, modifying the course of the operation, was based on the performance of a simple logical activity at the depth of approx. 150 cm¹. The objective of the experiment was to identify and explain the efficiency level of a task performed under water and its impact on the entire rescue operation.

Operation efficiency is understood as compliance between an accomplished result and a task objective (Kotarbiński 1982). Depending on objective type, which may be gradable or non-gradable, performance may be identified as efficient or inefficient (a non-gradable goal). It is also assumed that with gradable objectives an operation's effectiveness level may vary (Łasiński 2003, Łasiński, Głowicki 2010, Panfil 2006). In the described experiment the rescuers' efficiency connected with the task performed under water was determined as non-gradable (completed - not completed), whereas in the analysis of the total time of the entire rescue operation, which is gradable, the gradability of the effectiveness of the rescue operation was also considered. *"The fewer the negative traits of an operation, and the more positive ones, to the utmost possible degree, the more effective such an operation will be"* (Pszczółowski 1982, p. 33).

MATERIAL AND METHOD

The study was based on a single-group technique test (Rubacha 2008). The subject was a simulated rescue operation in the form of an examination task (Fig.1).

¹ The experiment constituted a part of a more extensive research implemented by Niedziela within his doctorate dissertation (Niedziela 2013),



Rys. 1. Schemat akcji ratunkowej wykonywanej podczas eksperymentu.

Po sygnale badany ratownik biegł 80 m, po czym pokonywał w pław dystans 80 m do manekina symulującego osobę nieprzytomną. Po uchwyceniu manekina ratownik rozpoczął holowanie do brzoju, tak aby twarz manekina była cały czas nad powierzchnią wody. Następnie manekin był wynoszony na brzoju. Akcja kończyła się ułożeniem manekina na ziemi w odległości 10 m od linii wody.

Dalszy przebieg akcji, wykonywany był po 15 sekundach przerwy i nie został uwzględniony w niniejszych badaniach. Obejmował on działania resuscytacyjne RKO² na fantomie, zgodnie z procedurą BLS³. Schemat przebiegu akcji oparty jest na standardach międzynarodowej organizacji ratowniczej (ILS⁴) i zaadaptowany przez WOPR do warunków panujących na akwenach polskich. Schemat ten był już wykorzystany w badaniach innych autorów (Stanula 2008, Zalewski 2010, Wiesner, Szydłowski 2010, Niedziela, Lisocki 2011).

W badaniach uczestniczyli ratownicy WOPR przygotowujący się do egzaminu na stopnie instruktorskie podczas centralnych szkoleń w ośrodku podlaskiego WOPR „Tama” nad jeziorem Rajgrodzkim. Była to więc wyselekcjonowana grupa spośród najlepszych ratowników w Polsce⁵.

² RKO (resuscytacja krążeniowo-oddechowa) – zabiegi ożywiania,

³ BLS (Basic Life Support) – podstawowe zabiegi ratowania życia,

⁴ ILS (International Life Saving) – Międzynarodowa Organizacja Ratownicza,

⁵ W celu zakwalifikowania się na centralne szkolenie ratownicy musieli spełniać ściśle określone kryteria: posiadany stopień Starszego Ratownika WOPR, minimum 8 letni staż w ratownictwie wodnym, doświadczenie zawodowe na różnych akwenach wodnych, posiadać minimum 3 dodatkowe uprawnienia przydatne w ratownictwie wodnym,

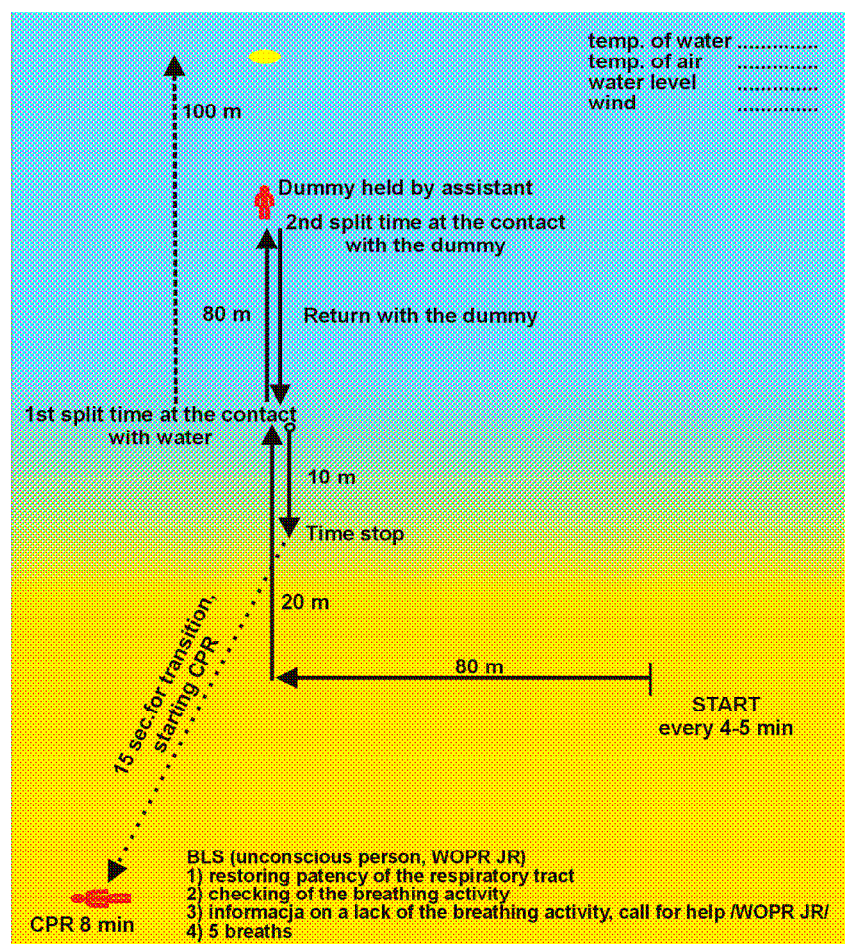


Fig. 1. The scheme of a rescue operation executed during the experiment.

After a given signal rescuers ran the distance of 80 m, followed by an 80-metre swim to a dummy simulating an unconscious person. After seizing the dummy, rescuers hauled it to the shore with the face maintained above the surface during the entire time. Next, the dummy was carried to the shore. The operation was completed when the dummy was placed on the ground at the distance of 10 m from water line. Further activities were continued after a 15-second break, and were not taken into account in the described experiment. They consisted in CPR activities² performed on a phantom in accordance with BLS procedure³. The operation model is based on international life-saving organisation standards (ILS⁴) and adopted by WOPR to match the conditions pervading in various bodies of water in Poland.

The model has been previously applied in studies conducted by other authors (Stanula 2008, Zalewski 2010, Wiesner, Szydłowski 2010, Niedziela, Lisocki 2011).

The research was participated by WOPR rescuers preparing for an exam to an instructor rank in the course of central trainings in the WOPR centre "Tama" at Rajgodzkie Lake. Therefore, it may be stated that the group was selected among the Poland's top rescuers⁵. It comprised 69 men aged between 21 - 46 years (the average age of 28.5; the standard deviation of 6.3). The group was homogeneous.

² CPR (cardiopulmonary resuscitation) - reanimation activities,

³ BLS - Basic Life Support activities,

⁴ ILS - International Life Saving Organisation,

⁵ In order to qualify to attend central training, rescuers were required to meet certain criteria: have a Senior WOPR Rescuer rank with minimum 8 years of experience as a water rescuer, have professional experience in different bodies of water and at least 3 additional licenses useful in water rescue operations,

Badani wykonywali dwie akcje ratunkowe. W akcji eksperymentalnej wprowadzono zmienną niezależną – wykonanie dodatkowego zadania pod wodą. W fazie dopływania do tonącego, na 60 metrze znajdowała się żółta boja. Należało przy niej zanurkować i na głębokości około 150 cm wykonać prostą operację logiczną – dopasować i umieścić cztery różnego kształtu elementy w otworach zanurzonego przedmiotu. Była to figura geometryczna z 12 otworami, zawieszona na linie i przymocowana do bojki na stałej głębokości 150 centymetrów. Nie było możliwości zgubienia, czy opadnięcia elementów na dno, ponieważ były przywiązane cienkimi linkami do zanurzonej figury (Rys. 2.) Akcja druga, kontrolna, przebiegała w sposób standardowy, bez wykonywania zadania pod wodą. Prezentowane badania eksperymentalne polegały na porównaniu skuteczności akcji ratunkowej o standardowym schemacie przebiegu z akcją ratunkową zawierającą element utrudnienia. Badanie polegało na porównaniu skuteczności akcji ratunkowej o standardowym schemacie przebiegu z akcją ratunkową zawierającą element utrudnienia.



Rys. 2. Przedmiot zastosowany w badaniach do oceny skuteczności działania pod wodą.

Całość zadania odbywała się pod wodą w warunkach wstrzymanego oddechu oraz z ograniczoną widzialnością. Maksymalny czas na wykonanie zadania wynosił 120 sekund i nie był on wliczany do łącznego czasu trwania całej akcji.

WYNIKI EKSPERYMENTU I ICH OMÓWIENIE

Wszystkie 4 elementy poprawnie ułożyło 38 spośród 69 ratowników, co stanowi 55% badanych. Przyjeliśmy, że skuteczność jest niestopniowalna, a więc tylko ta grupa ratowników skutecznie wykonała zadanie pod wodą. Do wykonania wystarczyło im średnio 75 sekund. Tę grupę ratowników określono jako grupę A. Pozostali ratownicy (31 osób) nie wykonali zadania. Dla celów porównawczych zakwalifikowaliśmy ich do grupy B. (Tabela 1). W grupie B nastąpiło zróżnicowanie sprawności ratowników. Szesnastu spośród nich ułożyło 3 spośród 4 elementów nie wykorzystując pełnego czasu 120. sekund. Zastanawia ten fakt, gdyż do pełnej skuteczności zabrakło tym ratownikom ułożenia tylko jednego elementu, na co mieli jeszcze 9 sekund. Średni, wykorzystany czas wyniósł 111 sekund, a pozostały czas mógł wystarczyć do ukończenia zadania.

Pozostali ratownicy z grupy B (15 osób), mimo że nie wykonali skutecznie zadania, to jednak w pełni wykorzystali czas przeznaczony na jego wykonanie. Wykazali się determinacją podejmując kolejne, nieskuteczne wysiłki pod wodą.

Dwóch z nich nie ułożyło ani jednego elementu, a 6 tylko jeden. Szczegółowa analiza zachowania ratowników opisanych w tej grupie została zaprezentowana w dysertacji doktorskiej Niedzieli (2013).

The majority of the participants (49 people = 71%) had secondary education. 20 participants were holders of higher education diplomas (29%).

The participants were asked to perform two rescue operations. An independent variable was introduced in the experimental operation – a completion of an additional task under water. A yellow buoy was placed at 60 metres, in the phase where the rescuer was to reach the drowning person. The task was to perform a dive at the buoy and carry out a simple logical operation at the depth of approx. 150 cm - to match and position four different elements in the holes of a submerged object. The object was a geometric figure with 12 holes hung on a rope and fixed to the buoy at the depth of 150 cm. The elements were attached to the submerged figure with thin cords securing them from being lost or dropped to the bottom (Fig.2). The second procedure, a control operation, was carried out in a standard manner, without the requirement to perform an underwater task. The presented experiment consisted in making a comparison between the effectiveness of a standard rescue operation with an operation enhanced with a certain impediment.



Fig. 2. Object used in the experiment to evaluate the rescuers' underwater performance.

The task was carried out with a held breath and limited visibility. Maximum task completion time was 120 seconds and was not calculated into the total time of the entire rescue operation.

EXPERIMENT RESULTS AND DISCUSSION

Among 69 rescuers 38, i.e. 55%, managed to correctly position all four elements. According to the adopted principles, task completion was treated as non-gradable, which means that the task was deemed complete only in the above instance. The average time needed for task completion was 75 seconds. This group of rescuers was defined as Group A

The remaining rescuers (31 people) failed to perform the task. For comparative purposes they were classified as Group B (Table 1). Rescuers from Group B were characterised by a diversified skill level. Sixteen of them were able to place correctly 3 out of 4 elements without using the entire time of 120 seconds. This seems curious, as in order to fulfil the task only one more element was needed, while the rescuers still had 9 seconds in which they could have completed the task. The average time reached 111 seconds, and the time left could be sufficient for full task completion.

The remaining rescuers from Group B (15 men) failed in the task performance; however, they made use of the entire allowable time. They proved to be determined by undertaking further unsuccessful attempts under water. Two of them failed to place any of the elements, and 6 managed to correctly position only one element. Detailed analysis of the rescuers' behaviour in this group is provided in Niedziela's doctorate dissertation (2013).

Tabela 1

Skuteczność wykonania zadania pod wodą przez badanych ratowników. (Grupa A – skuteczne wykonanie zadania; Grupa B – niewykonanie zadania).

Liczba poprawnie ułożonych elementów		Liczba osób		Średni czas wykonania zadania (s)
		N	%	
Grupa A	4	38	55	71,5
Grupa B	0	2	3	120,0
	1	6	9	120,0
	2	7	10	120,0
	3	16	23	111,0
Całość		69	100	91,6

Fakt przebywania pod wodą oraz działanie w warunkach braku dostępu do tlenu powoduje, iż jest to sytuacja skrajnie ekstremalna (Terelak 2009). Na ten sam fakt zwraca uwagę Karolczak – Biernacka (1986), która zatrzymanie oddychania podczas pływania pod wodą (brak tlenu niezbędnego do normalnego funkcjonowania organizmu), zalicza do elementów składowych sytuacji trudnej. Utrudnienie powstaje wtedy, gdy możliwość wykonania zadania zostaje zmniejszona wskutek pojawienia się w sytuacji elementów zbędnych lub nieobecności elementów potrzebnych. W pierwszym wypadku mówimy o przeszkodach, w drugim zaś o brakach. Zarówno jedne, jak i drugie dezorganizują sytuację i dlatego utrudniają czynności orientacyjne, decyzyjne i wykonawcze (Tomaszewski 1982).

Brak jest empirycznych opracowań opisujących skuteczność działania ratowników w sytuacjach trudnych. Są jedynie źródła pośrednie (Kołacz 1985, Karolczak – Biernacka 1986, Niebudek 1989 Koszycz 1997). Dotychczasowe badania skuteczności akcji ratunkowej dotyczyły głównie aspektów wysiłkowych, technicznych oraz sprzętowych (Michniewicz 2009, Niedziela 2013).

W powyższym zadaniu, obok wykonywania zadania pod wodą ze wstrzymanym oddechem, dodatkowy element utrudnienia stanowiła liczba możliwych do wykonania kombinacji (495 możliwości) oraz ryzyko zaplątania się linek pod wodą. Zadanie wykonywane pod wodą w trakcie egzaminacyjnej akcji ratunkowej, zgodnie z teorią Tomaszewskiego (1982), wypełnia znamiona sytuacji trudnej:

- Deprywacja - fragmenty akcji ratunkowej odbywają się w warunkach bezdechu, braku tlenu oraz ograniczonego funkcjonowania niektórych receptorów;
- Zagrożenie - działanie ratownika bezpośrednio w wodzie prowadzone jest w niebezpiecznych warunkach z narażeniem zdrowia, a nawet jego życia;
- Przeciążenie - działanie w warunkach skrajnego obciążenia fizycznego organizmu - intensywny bieg (80 m), pływanie (80 m), nurkowanie i holowanie na tym samym dystansie, a także silną presją psychiczną - dla badanych ratowników była to próba egzaminacyjna, którą wykonywano na czas. Egzamin może być traktowany jako sytuacja trudna (Sowicka 2010);
- Konflikt - rezygnowanie z podjęcia kolejnych prób wykonania zadania pod wodą, przez ratowników działających nieskutecznie. Dotyczy to części ratowników z Grupy B, którzy ułożyli jedynie trzy elementy (16 osób). Podejmując decyzję o przerwaniu wykonywania zadania pod wodą, mimo posiadanej jeszcze rezerwy czasowej, znaleźli się w sytuacji konfliktowej.

Table 1

Underwater task performance by the examined rescuers. (Group A - task completed; Group B - failure to complete task).

Number of correctly placed elements		Number of people		Average task completion time (s)
		N	%	
Group A	4	38	55	71,5
Group B	0	2	3	120,0
	1	6	9	120,0
	2	7	10	120,0
	3	16	23	111,0
Total		69	100	91,6

Staying under water without access to oxygen results in the situation being classifiable as extreme (Terelak 2009). This fact is also pointed out by Karolczak-Biernacka (1986) who qualifies the situation involving holding one's breath while swimming under water (a lack of oxygen necessary for normal functioning of an organism) as a component of a problem situation. A difficulty emerges when task feasibility becomes reduced due to an occurrence of unnecessary or an absence of necessary elements. In the first case reference is made to obstacles, whereas in the second to deficiencies. Both of them lead to a disorganisation resulting in an impeded sense of orientation, as well as the decision-making and executive processes (Tomaszewski 1982).

There is a lack of empirical studies describing rescuers' efficiency in problem situations. The available sources are only indirectly related to this issue (Kończak 1985, Karolczak – Biernacka 1986, Niebudek 1989 Koszczyk 1997). Former studies on the effectiveness of rescue operations were mainly concerned with matters related to physical effort, as well as technical problems (Michniewicz 2009, Niedziela 2013).

In the described task, besides the obvious difficulty related to the necessity to perform it under water on a single breath, an additional impediment was the number of possible combinations (495 possibilities) and the risk of tangling of the cords. According to Tomaszewski's theory (1982) a task executed under water during an exam rescue operation carries traits of a problem situation:

- Deprivation - parts of a rescue operation are performed on a single breath, with a lack of oxygen and a limited functioning of certain receptors;
- Hazard - the rescuer's action performed directly in water is carried out in dangerous conditions hazardous to his health or even life;
- Overload - acting in the conditions of extreme physical overload - intense running (80 m), swimming (80 m), diving and hauling on the same distance, as well as being under strong psychological pressure - an exam task performed within a certain time limit. An examination may be treated as a problem situation (Sowicka 2010);
- Conflict – the resignation of inefficient rescuers from undertaking further attempts to complete the task under water. This concerns some of Group B rescuers that managed to correctly position as many as three elements (16 men). By taking a decision on aborting the task despite the available time reserve they placed themselves in a situation of conflict.

Reasumując można stwierdzić, że badani ratownicy działali w sytuacji trudnej. 38 ratowników, którzy wykonali zadanie pod wodą, to osoby działające skutecznie w sytuacji trudnej. Pozostali ratownicy (grupa B) takiej skuteczności nie wykazali.

Powstaje zatem pytanie, czy skuteczność działania ratowników w sytuacji trudnej wykazuje związek ze skutecznością działania podczas egzaminacyjnej akcji ratunkowej, traktowanej całościowo?

Podstawę do oceny skuteczności akcji ratunkowej stanowiła szybkość jej przeprowadzenia przez badanych mierzona czasem trwania kolejnych etapów. Stanowiła miarę skuteczności stopniowalnej. Uzyskane wyniki ilustruje tabela nr 2.

Tabela 2

Czas wykonania całej egzaminacyjnej akcji ratunkowej przez badanych ratowników, z uwzględnieniem skuteczności wykonania zadania pod wodą (Grupa A – skuteczne wykonanie zadania; Grupa B – niewykonanie zadania).

Akcja	Etap akcji	Grupa	\bar{x} czas [s] akcji	Mediana	Test Manna-Whitneya	
					p	
Kontrolna	Bieg	A	19,2	20,3	0,314	
		B	19,9	20		
	Pływanie	A	61,7	84	0,774	
		B	62,0	78		
	Holowanie	A	100,4	107	0,415	
		B	100,2	109		
	Cała akcja	A	181,3	185	0,873	
		B	182,1	183		
	Eksperymentalna	Bieg	A	20,8	21,5	0,349
			B	21,1	21,7	
Pływanie		A	57,2	59,6	0,657	
		B	59,7	61,4		
Holowanie		A	98,3	104	0,559	
		B	99,5	106		
Cała akcja		A	176,3	181	0,714	
		B	180,3	187		

Taking into account all of the above conditions we may conclude that the examined rescuers were faced with a problem situation. 38 rescuers who managed to successfully complete the task under water were those whose activity in a problem situation was efficient. The remaining rescuers (Group B) were not characterised by such efficiency.

Therefore, a question arises whether rescuers' efficiency in a problem situation is related to their efficiency during an exam rescue operation as a whole.

The rescue operation efficiency evaluation was analysed based on completion time of particular operation stages. The applied criterion was gradable. The obtained results are presented in Table 2.

Table 2

Time of performance of the entire rescue operation by rescuers with the consideration of an underwater task completion (Group A - successful task completion; Group B - a failed attempt).

Operation	Phase	Group	\bar{x} operation time [s]	Median	Mann-Whitney test
					p
Control	Running	A	19.2	20.3	0.314
		B	19.9	20	
	Swimming	A	61.7	84	0.774
		B	62.0	78	
	Hauling	A	100.4	107	0.415
		B	100.2	109	
Entire operation	A	181.3	185	0.873	
	B	182.1	183		
Experimental	Running	A	20.8	21.5	0.349
		B	21.1	21.7	
	Swimming	A	57.2	59.6	0.657
		B	59.7	61.4	
	Hauling	A	98.3	104	0.559
		B	99.5	106	
Entire operation	A	176.3	181	0.714	
	B	180.3	187		

Skuteczność akcji ratunkowej kontrolnej w przypadku obu badanych grup ratowników była bardzo zbliżona do siebie. Różnice czasowe poszczególnych etapów akcji wyniosły poniżej 1 sekundy na korzyść grupy A. Prawidłowość ta potwierdziła się również w przypadku łącznego czasu prowadzonej akcji ratunkowej – szybciej wykonali ją ratownicy z grupy A. Stwierdzona różnica nie jest istotna statystycznie, co nie upoważnia do jednoznacznych konkluzji.

Skuteczność działania ratowników w sytuacji eksperymentalnej wykazała podobną tendencję, jak w grupie kontrolnej. Ratownicy Grupy A uzyskali lepsze wyniki w szybkości przeprowadzenia akcji, niż ratownicy z Grupy B. Różnice czasowe poszczególnych etapów akcji przekraczały 1. sekundę na korzyść grupy A, a łączny czas akcji ratunkowej w ich wykonaniu był o 4 sekundy krótszy. Na podstawie otrzymanych danych można zauważyć, że ratownicy skutecznie działający podczas wykonywania zadania pod wodą (Grupa A), uzyskują lepsze wyniki w szybkości przeprowadzenia akcji, niż ratownicy z Grupy B. Różnica między grupami rysuje się wyraźniej, jednak i w tym przypadku zaobserwowane różnice nie są istotne statystycznie.

Oznacza to, iż ratownicy z grupy A i B osiągnęli ten sam poziom skuteczności działania w akcji ratunkowej, a zauważona tendencja iż ratownicy wykonujący skuteczniej egzaminacyjną akcję ratunkową, działają lepiej w sytuacji wystąpienia dodatkowego zadania pod wodą (utrudnienie), wymaga ponownej weryfikacji empirycznej.

Dla pełnej interpretacji sygnalizowanej tendencji niezbędne są także informacje o właściwościach osobowościowych ratowników objętych badaniem, a zwłaszcza predyspozycje motoryczne i psychofizyczne. Problem tych uwarunkowań w odniesieniu do ratowników porusza w przytaczanej już pracy Niedziela (2013), a także Avramidis, Avramidou, Pullman (2007), Pia (2006), Parnicki, Turosz (2002), Bielec Błaszczowska, Waade (2007).

Można przyjąć, że wprowadzone w badaniach dodatkowe zadanie pod wodą jest adekwatne do specyfiki działania ratowniczego i nie odbiega zbyt pod tym względem od pozostałych elementów akcji ratunkowej. Tym samym może być stosowane jako narzędzie do oceny skuteczności działań ratowniczych.

Na podstawie zebranego materiału można zauważyć, że ratownicy obu grup uzyskali lepsze wyniki podczas akcji eksperymentalnej, niż podczas akcji kontrolnej. Różnica w osiągniętym wyniku wyniosła prawie 10 sekund i jest ona istotna statystycznie. Różnice te widoczne są zwłaszcza w etapach akcji wykonywanych pod wodą – dopływanie do manekina i holowanie (Tabela 3).

Tabela 3

Czas wykonania egzaminacyjnej akcji ratunkowej przez badanych ratowników w warunkach eksperymentalnych i kontrolnych.

Etap akcji	Akcja kontrolna		Akcja eksperymentalna	
	Średni czas	Odchylenie standardowe	Średni czas	Odchylenie standardowe
Bieg	20,3	3,5	21,4	3,4
Pływanie	62,5*	11,4	54,7*	11,9
Holowanie	102	26,2	99	25,3
Łączny czas	184,8*	29,6	175,1*	31,2

*istotność statystyczna na poziomie $p < 0,05$.

Wykazana różnica na korzyść akcji ratunkowej z utrudnieniem może być wyjaśniona wyższym poziomem koncentracji, jakie wywołuje u badanych ratowników nowe, nieznanne i dotychczas niewykonywane zadanie pod wodą. Zależność tą można próbować wyjaśnić odnosząc się do teorii optimum pobudzenia Hebba (1973), która zakłada iż dla każdej jednostki istnieje optymalny próg pobudzenia. Szczególne znaczenie ma to w odniesieniu do sytuacjach trudnych, które cechują się dużym ładunkiem stymulacji.

The efficiency of a control rescue operation in both rescuer groups was very similar. Time differences for particular operation stages reached less than 1 second to the advantage of Group A. This regularity was also confirmed in the case of the total operation time - Group A rescuers completed the operation faster. The observed difference is not statistically significant and does not allow drawing unambiguous conclusions.

Rescuers' efficiency in the experimental situation indicated a similar tendency as that noted in the control group. Group A rescuers obtained better results with regard to the operation's time as compared with Group B rescuers. Time differences related to particular operation stages were just over 1 second to the advantage of Group A, and the total operation time in this group was by 4 seconds shorter. Based on the obtained data we may note that the rescuers who successfully completed the underwater task (Group A) obtained better time results than the rescuers from Group B. The differences between the groups are slightly clearer in this context; however, they still remain statistically insignificant.

This means that both groups achieved the same rescue operation efficiency level, and as such the observed tendency indicating that those rescuers that proved to be more effective during an exam rescue operation would also manage to be more efficient in the situation when it is necessary to perform an additional task under water (impediment) will require a repeated empirical verification.

In order to receive a complete interpretation of the observed tendencies, it is required to obtain information on the rescuers' personality traits, mainly including their motor and psychophysical predispositions. The issue concerned with the said conditions regarding the rescuers has been discussed in the already mentioned work by Niedziela (2013), but also in the works by Avramidis, Avramidou, Pullman (2007), Pia (2006), Parnicki, Turosz (2002), Bielec Błaszowska, Waade (2007). We may assume that the additional task included in the experiment was adequate with regard to the specifics of a rescue operation and was not much different from the other parts of the operation. Thus, it may be applied as a tool in the evaluation of the efficiency of rescue activities.

The collected material allows one to observe that the rescuers from both groups achieved better results during the experimental operation than during the control operation. The time difference in the obtained result reached nearly 10 seconds, which makes it statistically significant. The said differences are particularly noticeable in the operation stages taking place in water - reaching the dummy and hauling it (Table 3).

Table 3

Time of performance of an exam rescue operation in experimental and control conditions.

Phase	Control operation		Experimental operation	
	Mean time	Standard deviation	Mean time	Standard deviation
Run	20.3	3.5	21.4	3.4
Swim	62.5*	11.4	54.7*	11.9
Towing	102	26.2	99	25.3
Total time	184.8*	29.6	175.1*	31.2

*statistical significance of $p < 0.05$.

Należy więc stwierdzić, że wprowadzenie do egzaminacyjnej akcji ratunkowej utrudnienia w formie dodatkowego zadania pod wodą zwiększa skuteczność wykonania całej akcji. Być może sytuacja trudna mobilizuje ludzi profesjonalnie przygotowanych do wykonywania niebezpiecznych zadań, do skuteczniejszego działania? Ma to doniosłe znaczenie praktyczne. Im szybsze wykonanie akcji ratunkowej w wodzie, tym szybciej osoba poszkodowana znajdzie się na brzegu i zostaną podjęte zabiegi ożywiania. A to zwiększa prawdopodobieństwo na przeżycie osoby ratowanej.

WNIOSKI

- Dodatkowe zadanie pod wodą wprowadzone do egzaminacyjnej akcji ratunkowej może być interpretowane i wyjaśniane jako działanie ratowników w sytuacji trudnej.
- Wprowadzenie do egzaminacyjnej akcji ratunkowej utrudnienia w formie dodatkowego zadania pod wodą zwiększyło skuteczność wykonania całej akcji przez wszystkich badanych ratowników. Zjawisko to wystąpiło niezależnie od skuteczności rozwiązania tego zadania. Stwierdzona zależność może dowodzić zwiększonej mobilności działania w sytuacji trudnej.
- Nie potwierdzono hipotezy o związku skuteczności działania ratowników w wykonaniu zadania pod wodą ze skutecznością działania podczas egzaminacyjnej akcji ratunkowej, traktowanej całościowo.
- Dodatkowe zadanie pod wodą wprowadzone do egzaminacyjnej akcji ratunkowej może być stosowane jako narzędzie do oceny i weryfikacji skuteczności działań ratowniczych. Wartość praktyczna takiego zadania polega na urealnieniu egzaminu do rzeczywistych warunków procesu ratowania osoby tonącej.

The indicated difference to the advantage of a rescue operation with an impediment may be connected with a higher concentration level evoked by a new unfamiliar underwater task that the rescuers conducted for the first time. Such a relationship may be explained by referring to Hebb's theory of optimal arousal (1973) assuming that each individual is characterised by a specific optimal arousal level. This is particularly important in the context of problem situations marked by a large stimulation load.

Hence, we may stipulate that the introduction of an impediment in the form of an additional underwater task into an exam rescue operation will result in an increased efficiency of the entire operation. Perhaps a problem situation motivates professionally trained people to perform dangerous tasks for improved effectiveness? This theory has a significant practical connotation. The faster the execution of a rescue operation in water, the sooner the victim will be brought to the shore and resuscitation activities will be undertaken. This in turn results in a higher chance of a victim's survival.

CONCLUSIONS

- Provision of an additional underwater task in an exam rescue operation may be interpreted and explained as rescuers' activity in a problem situation.
- Introduction of the said impediment resulted in improved efficiency of all the participants with regard to the entire rescue operation. This phenomenon was observable irrespective of whether the task was completed or not; an observation which may suggest an increased motivation to act in a problem situation.
- The hypothesis on the existing connection between rescuers' efficiency in task performance under water and their effectiveness during the exam rescue operation treated as a whole has not been confirmed.
- The additional underwater task introduced into the exam rescue operation may serve as a tool in the evaluation and verification of rescue activity efficiency. Practical value of such a task consists in the imitation of real rescue conditions during an exam.

BIBLIOGRAPHY

1. Avramidis A., Avramidou E., Pollman R., Competitive Anxiety in Lifesaver and Swimmers. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 2007, Human Kinetics 2007, pp. 108 – 117.
2. Bielec G., Błaszowska J., Waade B., Anxiety as a state of mind and a characteristic feature in divers. *Water Sports and Rescue Operations*. AKS Radom 2007, pp. 27 – 32.
3. Griffiths, T., Steel, D., Vogelsong, H., Lifeguard Behaviors and Systematic Scanning Strategies. *Drowning: New Perspectives on Intervention and Prevention*, Fletemeyer and Freis, eds, CRC Press. 1999, pp. 267 – 279.
4. Hebb D.O., *Psychology Coursebook*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, [in Polish] Warsaw 1973.
5. Karolczak – Biernacka B., *Studies on sportsmen's behaviour in difficult situations*. [in Polish] Wydawnictwo Sport i Turystyka. Warsaw 1986.
6. Kołacz T., *Surfers' ability to act in stressful situations*. [in Polish] A doctoral dissertation typescript. AWF Wrocław 1985.
7. Koszycz T. (ed.) *Physical education didactics. The third international scientific conference on: Teaching and learning under difficult circumstances*. [in Polish] AWF Wrocław 1997.
8. Kotarbiński T., *Treaty on good work*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich. Wrocław, Warsaw 1982.
9. Łasiński G., *The competence in managing a sports organisation*. [in Polish] Studies and monographs no. 70. AWF Wrocław 2003.

10. Łasiński G., Głowicki P., Individual activity effectiveness in praxiological depiction [in Polish], Scientific works of the EU in Wrocław no. 144, Wrocław 2010.
11. Michniewicz R., The knowledge and competences of water rescuers in relation to the rescue operations' structure. A doctoral dissertation typescript. [in Polish] AWF Poznań 2009.
12. Niebudek T., Learning of sports activities in difficult situation on the example of underwater swimming. [in Polish] A doctoral dissertation typescript. AWF Wrocław 1989.
13. Niedziela M., The effectiveness of activities of WOPR rescuers in a difficult situations on the example of simulated rescue operation. A doctoral dissertation typescript [in Polish]. AWF Wrocław 2013.
14. Niedziela M., Lisocki P., Comparison of an individual rescue operation in long fins with an "eel" belt with a rescue board. [in Polish] Water Sports and Rescue Operations. AKS Radom 2011, pp. 16 – 21.
15. Panfil R., The praxiology of sports games. Studies and Monographs of the Academy of Physical Education in Wrocław. AWF Wrocław 2006.
16. Parnicki, F., Siłakiewicz, P., The time structure in a rescue operation in direct contact with a drowning individual. [in Polish] Wychowanie Fizyczne i Sport 2004 48(3). pp. 251 – 255.
17. Parnicki F., Turosz A., The impact of selected personality traits in WOPR rescuers. [in Polish] Wychowanie Fizyczne i Sport no. 2. Warsaw 2002, pp. 209 – 215.
18. Pia F., Management of physical and psychological responses during administration of CPR to a drowned person. [in] Joost I., Bierens L.M., (ed.) Handbook on drowning – prevention, rescue, treatment. Berlin 2006, pp. 301 – 304.
19. Pia F., Reflections on lifeguard surveillance programs Drowning: New Perspectives on Intervention and Prevention. CRC Press, LLC 1999.
20. Pia F., Observations on the drowning of non-swimmers. Journal of Physical Education. 1974 71(6). pp. 164 – 167.
21. Pszczołowski T., Principles of effective operations - an introduction to praxeology. [in Polish], Wiedza Powszechna. Warsaw 1982.
22. Rubacha K., Methodology of research on education. Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne. Warsaw 2008.
23. Sowicka M., An exam as a stressful situation. An educationalist's handbook. Warsaw 2010.
24. Stanula A., The influence of fatigue of an individual rescue operation on resuscitation effectiveness. [in Polish] Water Sports and Rescue Operations. AKS Radom 2008, pp. 49 – 55.
25. Terelak J.F., A human vs. stress. [in Polish] Oficyna wydawnicza Branta. Bydgoszcz – Warsaw 2008.
26. Tomaszewski T., Psychology. [in Polish] Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warsaw 1982.
27. Niedziela M., Lisocki P., Comparison of an individual rescue operation in short fins with a rescue belt with an operation with a rescue board. [in Polish] Water Sports and Rescue Operations. AKS Radom 2010, pp. 60 – 69.
28. Wiesner, W., Skalski, D., Kowalewski, B., The foundations of a methodical rescue operation. [in Polish] Second edition with alterations. Olsztyn 2007.
29. Wiesner, W., Kowalewski, B., Demonstrative boards on water rescue services. [in Polish] Harcerskie Biuro Wydawnicze Horyzonty. Warsaw 2000.
30. Zalewski T., The effectiveness of rescuer's activity and selected psycho-physical and situational factors in water rescue. [in Polish] A doctorate dissertation AWF Poznań 2010.

Wojciech Wiesner
Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
Al. Paderewskiego 35,
51-612 Wrocław
e-mail: wojciech.wiesner@awf.wroc.pl
Tel.: 606 598 168

Michał Niedziela
Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
Al. Paderewskiego 35,
51-612 Wrocław
e-mail: michalniedziela@op.pl
Tel.: 503 194 516

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ ПОД ВОДОЙ В ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ

Спасение утопающего, независимо от условий, в которых оно осуществляется, всегда несет черты сложней ситуации. Особым ее случаем является ситуация, в которой происходит непосредственный контакт с человеком, подверженным опасности. Нырание с целью доплытия к тонущему человеку или поиск его на дне происходит в условиях без дыхания, что нарушает нормальное функционирование организма. Разве эти затруднения влияют на изменение эффективности действий спасателя. Для этой цели был проведен естественный эксперимент методом одной группы, с участием участников центральных курсов на самые высокие спасательные и инструкторские степени ОСВОД (WOPR). Исследование было проведено в центре Подляского ОСВОД (WOPR) "Тама" на Райгородском озере во время тестового экзамена. Мы сравнили эффективность акции спасения стандартным схематом с спасательной акцией, которая включает в себя элемент сложной ситуации - выполнение простой логической операции на глубине около 150 см под водой.

Ключевые слова: спасение тонущих, акция спасения, ныряние.

ENDOSCOPIC, HISTOLOGICAL AND MOLECULAR MARKERS OF ABERRANT CRYPT FOCI (ACF)**ENDOSKOPOWE, HISTOPATOLOGICZNE I MOLEKULARNE WYKŁADNIKI ABERRANT CRYPT FOCI (ACF)**

Marek Kowalczyk¹⁾, Wiesław Pesta²⁾, Krzysztof Zinkiewicz³⁾, Agnieszka Pedrycz⁴⁾,
Krzysztof Paśnik⁵⁾, Piotr Siermontowski⁶⁾, Marcin Orłowski⁷⁾, Waldemar Kurpiewski¹⁾,
Wit Juśkiewicz¹⁾, Iwona Kowalczyk¹⁾

¹⁾ Academic Clinical Hospital in Olsztyn, Poland

¹⁾ Uniwersytecki Szpital Kliniczny w Olsztynie

²⁾ The Department of General and Minimally Invasive Surgery with the Centre of Surgical Obesity Treatment, A Health Service Institution in Łęczna, Poland

²⁾ Oddział Chirurgii Ogólnej i Małoinwazyjnej z Ośrodkiem Chirurgicznego Leczenia Otyłości, Szpital ZOZ w Łęcznej

³⁾ The 2nd Department of General and Gastrointestinal Surgery and Surgical Oncology of the Alimentary Tract, Medical University in Lublin, Poland

³⁾ II Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej, Gastroenterologicznej i Nowotworów Układu Pokarmowego, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

⁴⁾ Histology and Embryology Department with the Experimental Cytology Laboratory of Medical University in Lublin, Poland

⁴⁾ Katedra i Zakład Histologii i Embriologii z Pracownią Cytologii Doświadczalnej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

⁵⁾ General, Oncological, Metabolic and Thoracosurgery Clinic, CCH MND MMI in Warsaw, Poland

⁵⁾ Klinika Chirurgii Ogólnej, Onkologicznej, Metabolicznej i Torakochirurgii CSK MON WIM w Warszawie

⁶⁾ Maritime and Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine in Gdynia, Poland

⁶⁾ Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowego Instytutu Medycznego w Gdyni

⁷⁾ Centrum of Diagnosis and Therapy of Digestive System's Diseases in Gdansk, Poland

⁷⁾ Centrum Diagnostyki i Leczenia Chorób Układu Pokarmowego w Gdańsku

ARTICLE INFO

Journal: PolHypRes 2013 Vol. 43 Issue 2 pp. 97 – 109

ISSN: 1734-7009

eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR. 44.5

Pages: 13, figures: 4, tables: 0.

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Keywords/Słowa kluczowe:

(in English): colorectal cancer, chromoendoscopy, ACF.

(in Polish): rak jelita grubego, chromoendoskopia, ACF.

Polish-English bilingual publication**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

ABSTRACT

(in English)

According to the Vogelstein theory, the carcinogenesis model in colorectal cancer is one of the best-characterized models of a multistep and multilevel process associated with the progression from normal colonocyte through aberrant crypt foci (ACF) and adenoma with dysplasia to invasive carcinoma. ACF are not visible in standard colonoscopy but are well identified with the use of high-magnification chromoendoscopy with methylene blue or indigo carmine staining. As compared with endoscopic images of normal crypts, ACF orifices appeared 2-3 times larger and had a thicker epithelial lining of a fissured and/or stellate shape, and, moreover, the mucosa staining in the ACF area was much more intense.

Under a microscope ACF agglomerations were noted, consisting of several to 200 intestinal glands characterised by various types of lesions (hyperplastic or dysplastic) affecting both the cyto- and histo-architecture. The distribution of ACF correlates well with adenomas and predilection area for the occurrence of polyps, as well as colorectal cancer (CRC) localization. The epidemiologic, genetic and enzymatic chance of ACF occurrence should be similar to that of adenomas and CRC, and their presence is a good predictor of future CRC development. ACF may be precursors of adenoma and colon cancer in APC and a K-ras-dependent pathways, as well as a rare pathogenetic pathway evoked by microsatellite instability (MSI) combined with DNA hypermethylation. ACF are the first morphologically identifiable (endoscopically and microscopically) precursors of colorectal cancer.

The summary in Polish on end of the publication

The summary in Russian on end of the publication

WSTĘP

Występowanie ACF u ludzi bez objawów klinicznych zaburzeń chorobowych dolnego odcinka przewodu pokarmowego narasta z wiekiem. Poniżej 40 roku życia ACF występują sporadycznie. Natomiast częściej stwierdza się ACF w okresie 40-50 r. ż., po czym liczba ich znacząco wzrasta od 50 r. ż. [1]. ACF u ludzi występują z podobną częstością u obu płci, nawet u osób z okolic o większym ryzyku wystąpienia RJG. Komórki nabłonka błony śluzowej jelita grubego, tworzące ACF produkują śluz, tak jak prawidłowe komórki jelita, jednak jest to śluz różny jakościowo. W tych stanach bowiem zwiększa się zawartość sialomucyn, natomiast zmniejszeniu ulega zawartość sulfomucyn w komórkach kubkowych nabłonka gruczołów, tworzących ACF [2]. Warto w tym miejscu nadmienić, że komórki wydzielające śluz w ACF mogą zawierać mieszaninę obu ww. związków śluzowych lub tylko jeden spośród nich, bądź też mogą być całkowicie pozbawione śluzu. Ponadto w ACF kolonocyty posiadają mniejszą liczbę mikrosomów w porównaniu z prawidłową komórką cylindryczną nabłonka błony śluzowej jelita grubego.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że ACF były po raz pierwszy opisane przez R. Bird w 1987 roku u myszy, poddanych działaniu środka mutagennego- azoxymethanu [3]. U tych myszy, w 2-3 tygodnie po podaniu mutagenu, w jelicie grubym obserwowano ogniska nieprawidłowych krypt, które błękitem metylenowym wybarwiały się ciemniej niż otaczające krypty prawidłowe, przy czym miały wyraźnie odmienne ujścia krypt i pogrubiałe obrzeża w porównaniu do niezmienionej, otaczającej te ogniska błony śluzowej.

Kinzler i Vogelstein oceniają ACF jako najwcześniej identyfikowalne morfologiczne zmiany w cyklu zdarzeń molekularno-morfologicznych, prowadzących do rozwoju raka jelita grubego [4]. ACF są zmianami heterogennymi, co m. in. powoduje, że niektóre spośród nich mogą przekształcić się w raka, podczas gdy inne utrzymują się w stanie nie zmienionym przez długi okres czasu.

Pierwszy raz ACF u ludzi były opisane w 1991 roku w resekowanych z powodu raka fragmentach jelita grubego [5].

Przy tym stwierdzono, że ludzkie ACF posiadają niemal identyczne wykładniki morfologiczne jakie obserwowano u doświadczalnych zwierząt i wyróżniają się następującymi cechami: krypty wchodzące w skład ACF są zdecydowanie szersze, natomiast przestrzeń wokół nich jest pogrubiała, błękitem metylenowym barwią się ciemniej niż krypty prawidłowe, ujścia krypt różnią się wyglądem od krypt zdrowych, w których to kryptach te ujścia są okrągłe lub owalne.

Zgodnie z teorią Vogelsteina karcinogeneza w RJG jest wieloetapowym i wielopoziomowym procesem zaburzenia regulacji dojrzewania nabłonka błony śluzowej jelita, począwszy od prawidłowej komórki macierzystej tego nabłonka, przez ogniska nieprawidłowych krypt jelitowych (ACF), następnie stadium gruczolaka/dysplazji, na gruczolakoraku kończąc [6]. Proces rozwoju RJG poprzedzają zmiany pośrednie, z których jak wiadomo z doświadczenia klinicznego, tylko niewielka część ulega transformacji złośliwej [7]. Współczesna medycyna dąży do jak najwcześniejszego wykrycia i leczenia stanów przedrakowych, którymi są ACF i niektóre polipy jelita grubego. ACF, czyli ogniska nieprawidłowych krypt jelitowych, są najwcześniej rozwijającymi się prekursorami nowotworów nabłonkowych jelita grubego. Wykrywanie zmian wczesnych i ich usuwanie podczas badania kolonoskopowego (ACF, polipy jelita grubego) może być metodą prewencyjną oraz służy do poprawy wyników leczenia, ponieważ w przypadkach raków wykrytych w okresie bezobjawowym rokowanie jest znacznie lepsze.

OBRAZ ENDOSKOPOWY ACF

ACF są niewidoczne w rutynowej kolonoskopii, natomiast dobrze identyfikowalne w chromoendoskopii, połączonej z barwieniem błony śluzowej jelita grubego, przy zastosowaniu błękitu metylenowego lub indygokarminu.

INTRODUCTION

The rate of ACF occurrence in humans without the projection of any clinical symptoms of pathological disorders in the lower part of the alimentary tract increases with age. Below the age of 40, ACF occurrence is sporadic. It is more common in the period between 40-50 years of age, and rapidly grows above the age of 50 [1]. In humans, ACF appear with similar frequency in both sexes, even in persons with higher risk of CRC occurrence. The colonocytes that constitute the ACF produce mucus in the same way as the normal colonic cells, however such mucus is qualitatively different. This condition leads to an increase in the sialomucin content and a reduction in sulfomucins in the goblet cells of the endothelium of glands generating the ACF [2]. At this point it is worth saying that the cells secreting the mucus in the ACF may contain a mix of both of the above mucilaginous compounds or only one of them, or they may be completely devoid of mucus. Moreover, the colonocytes in the ACF are characterised by a smaller number of microvilli as compared with regular cylindrical cells of the endothelium of the large intestine mucosa. It is worth pointing out that ACF were described for the first time by R. Bird in 1987, during his research on mice subjected to the activity of a mutagenic agent - azoxymethane [3]. In the period of 2-3 weeks after the mutagen administration, observable ACF appeared in the large intestine of the mice, which stained darker with methylene blue than the neighbouring regular crypts, and their orifices were visibly different, with thickened outer edges, as compared with the unchanged mucosa surrounding the aberrant foci.

Kinzler and Vogelstein perceive ACF as the earliest identifiable morphological changes in the cycle of molecular-morphological incidents leading to the development of colorectal cancer [4]. ACF constitute heterogeneous changes, which means, among other things, that some of them may transform into cancer while the others remain unchanged for a long period of time.

The first description of ACF in humans appeared in 1991 and concerned resected fragments of the large intestine due to carcinoma [5]. At the same time it was observed that human ACF are characterised by almost identical morphological exponents as those noted in experimental animals and distinguished by the following properties: the crypts within the ACF are much wider with a thickened area; they stain darker with methylene blue than normal crypts; their orifices differ from healthy crypts with round or oval orifices.

According to the Vogelstein theory, carcinogenesis related to colorectal cancer is a multistep and multilevel process associated with the progress from normal colonocyte through aberrant crypt foci (ACF) and adenoma with dysplasia to invasive carcinoma [6]. The process of CRC development is preceded with intermediary changes, of which, according to clinical experience, only a small part transforms into malignant form [7]. Modern medicine strives to achieve the earliest possible detection and treatment of precancerous conditions such as the ACF and certain polyps of the large intestine. ACF, i.e. aberrant crypt foci are the earliest developing precursors of endothelial cancer of the large intestine. Early lesion detection and their extraction during colonoscopy (ACF, large intestine polyps) may constitute a preventive method and serve to improve treatment results. For carcinoma detected in its symptomless period, the prognosis is significantly more favourable.

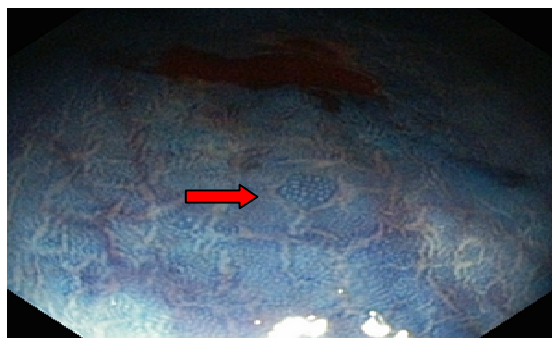
ACF ENDOSCOPIC IMAGE

ACF are not visible in standard colonoscopy but are well-identified with the use of high-magnification chromoendoscopy with methylene blue or indigo carmine staining. When stained with methylene blue, microscopic examination of biopsy samples taken from the ACF area revealed larger crypts with widened orifices surrounded with a thickened endothelium and a reduced quantity of mucus; the so-called MDF (*Mucin Depleted Foci*). The ACF may lay 'flat', be elevated or immersed in the mucosa surface. The shape of the gland lumen in the ACF is largely dependent on their histological structure [8]. Similarly to morphology, the phenotypic and genotypic properties of ACF are distinguishable from regular crypts.

Badanie mikroskopowe oligobiopłatów pobranych z obszaru ACF, barwionego błękitem metylenowym ujawnia krypty większego kalibru, o poszerzonym ujściu, otoczone pogrubiąłym nabłonkiem, ze zmniejszoną ilością śluzu; - tzw. MDF (ang. *Mucin Depleted Foci*). ACF mogą być „płaskie”, uniesione lub zagłębione wobec powierzchni błony śluzowej. Kształt światła gruczołów w ACF zależy w dużej mierze od budowy histologicznej [8]. Podobnie jak morfologia również cechy fenotypowe i genotypowe ACF są różne od krypt prawidłowych. Dane fenotypowe i genotypowe w ACF były opisane dokładnie przez Pretlow [9] i Alrawi [10] a mianownictwo histologiczne przedstawił dokładnie Di Gregorio w 1997 roku [11] oraz Fenoglio-Preiser [12]. Rozmieszczenie ACF w jelicie grubym dobrze koreluje z występowaniem zarówno polipów, jak i raka jelita grubego. ACF najczęściej lokalizują się w odbytnicy i lewej połowie okrężnicy. Średnia gęstość, czyli -ilość/ ACF w cm², jest większa w odbytnicy, niż innych odcinkach jelita grubego [11,13,14]. Warto w tym miejscu nadmienić, że największa gęstość ACF towarzyszy RJG, zespołom polipowatości oraz dziedzicznemu rakowi jelita grubego bez polipowatości (HNPCC).

OBRAZ HISTOPATOLOGICZNY

Mikroskopowo ACF widoczne są jako gniazda zbudowane z kilku do około 200 nieprawidłowych cew gruczołowych. Obecnie, ze względu na budowę histopatologiczną wyróżnia się cztery podstawowe formy ACF: niedysplastyczne (typowe i hiperplastyczne), dysplastyczne i mieszane [15]. W publikacjach znajdujemy również określenie „ACF w I stopniu nieprawidłowości”, które są traktowane jako bezpośrednie prekursory gruczolaków [16,17].



Rys. 1. ACF normalny (typical ACF).
Materiał własny autora.



Rys. 2. ACF hiperplastyczny (hyperplastic ACF).
Materiał własny autora.



Rys. 3. ACF dysplastyczny (dysplastic ACF).
Materiał własny autora.



Rys. 4. ACF mieszany (mixed ACF).
Materiał własny autora.

Typowy ACF (określane również jako „normalny”) Ryc. 1- różni się od prawidłowej histoarchitektoniki błony śluzowej jelita grubego poszerzeniem światła krypt o około 1,5-2,5x. Komórki nabłonka jelitowego posiadają regularnie ułożone jądra. Ogniska ubytku mucyny oraz wykładniki mikroskopowe dysplazji są nieobecne. Jądra komórek kubkowych są ułożone przypodstawnie.

The phenotypic and genotypic data of the ACF have been described in detail by Pretlow [9] and Alrawi [10], whereas the histological nomenclature was presented by Di Gregorio in 1997 [11] and Fenoglio-Preiser [12]. The distribution of ACF in the large intestine correlates well with the occurrence of polyps as well as CRC. The most common location of ACF is the rectum and the left part of the colon. Average density, i.e. the ACF quantity per cm² is higher in the rectum than in other segments of the large intestine [11, 13, 14]. It is worth mentioning that the highest ACF density accompanies CRC, polyposis syndromes, and hereditary nonpolyposis colorectal cancer (HNPCC).

HISTOPATHOLOGICAL IMAGE

Under the microscope ACF are seen as clusters of several to 200 irregular glandular ducts. Currently, due to their histopathological structures, it is possible to distinguish four basic ACF forms: non-dysplastic (typical and hyperplastic), dysplastic and mixed [15]. In various publications we may also find the term of 'stage I abnormality ACF' treated as immediate adenoma precursors [16, 17].

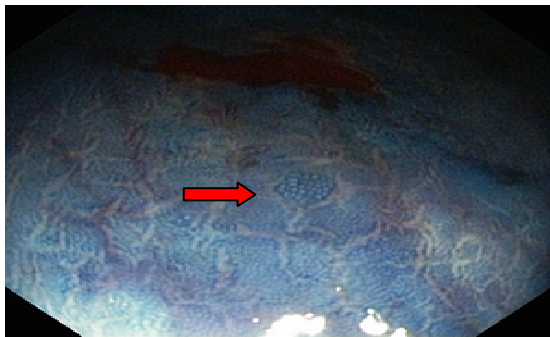


Fig. 1. Typical ACF (author's own material).



Fig. 2. Hyperplastic ACF (author's own material).



Fig. 3. Dysplastic ACF (author's own material).



Fig. 4. Mixed ACF (author's own material).

Typical ACF (also defined as '*normal*') – Fig. 1 – differ from regular histoarchitecture of the mucosa of the large intestine by crypt lumen extended by approx. 1.5-2.5x. The endothelial cells of the intestine are characterised by regularly arranged nuclei. Mucin-deficient foci and microscopic exponents of dysplasia are not present. Goblet cell nuclei have a basal location. On average, there are up to 30 glands/crypts in the ACF concentration of this type. The mitotic activity of intestinal absorptive cells is located in the lower 1/3 of the glandular tract. Normal ACF develop in the intermucosal area. This is the most common ACF type, even in patients with evident colorectal cancer. They are usually detected in the rectum and sigmoid colon [12].

Średnio występuje do 30 gruczołów/krypt w tego typu ognisku ACF. Aktywność mitotyczna komórek nabłonka jelitowego jest zlokalizowana w 1/3 dolnej strefy cewy gruczołowej. ACF normalne rozwijają się śródśluzówkowo. Jest to najczęściej występujący rodzaj ACF, nawet u pacjentów z ewidentnym rakiem jelita grubego. Ten typ ACF jest najczęściej wykrywany w odbytnicy i esicy [12].

ACF hiperplastyczne Ryc. 2 - posiadają fenotyp podobny do polipów hiperplastycznych. W tych ACF występują ząbkowate ujścia gruczołów a komórki kubkowe nadmiernie przepełnione śluzem, zlokalizowane są w górnych strefach gruczołów, natomiast strefa proliferacyjna nabłonka jelitowego poszerza się, obejmując 2/3 dolne krypt jelitowych. Wydłużone krypty mogą kończyć się podwójnie lub potrójnie rozgałęzionymi gruczołami. Niekiedy w nabłonku jelitowym u podstawy krypt pojawiają się komórki Panetha. Komórki nabłonka jelitowego zawierają nieznacznie powiększone jądra z pęcherzykowymi wpukleniami cytoplazmy, bez rzekomego nawarstwienia się jąder. MDF są sporadycznie spotykane. Grudki chłonne okołogniskowe są obecne w około 40% hiperplastycznych ACF. Liczba gruczołów jelitowych w ognisku ACF może dochodzić do 150. Ciałka apoptotyczne w komórkach nabłonka jelitowego występują sporadycznie [14]. ACF hiperplastyczne są częściej stwierdzane w odbytnicy i lewej połowie okrężnicy. Często są uniesione ponad poziom otaczającej te ogniska, prawidłowej błony śluzowej jelita grubego [12].

ACF dysplastyczne Ryc. 3 zawierają komórki z powiększonymi, pęcherzykowatymi i nawarstwionymi jądrami, które utraciły prawidłową polaryzację. Często zawierają one wydatte jąderka i są różnokształtne. Stopień nasilenia w/w zmian morfologicznych zależy od stopnia dysplazji. Aktywność mitotyczna nabłonka jelitowego jest zlokalizowana w 1/3 górnej krypty [11,14]. Ponadto w tych komórkach stosunek cytoplazmy do jądra przesuwają się na korzyść tego drugiego. W nabłonku jelitowym komórki kubkowe występują sporadycznie, przy czym pojawiają się liczne są ogniska MDF.

Mucyna występuje w postaci wodniczek lub też pojawia się w świetle krypt, pozakomórkowo, często nieregularnie rozmieszczona. Występują także liczne ciała apoptotyczne, zdecydowanie częściej niż w innych postaciach ACF. Współwystępowanie grudek chłonnych i skupisk limfocytów jest 3-8 razy częstsze niż w otaczającej śluzówce a także w innych postaciach ACF [14]. Ujścia gruczołów mają kształt szczelinowaty lub zbliżony do elipsy.

Tego typu ACF są częściej stwierdzane w kątnicy i wstępnicy. Warto przy tym zaznaczyć, że występują u prawie wszystkich pacjentów z FAP (ang. Familial Adenomatous Polyposis). Także częściej występują one u pacjentów z gruczolakami i rakiem jelita grubego. Omawiając ACF dysplastyczne należy wspomnieć o ACF w I^o nieprawidłowości (ACF stage I abnormality), które opisali dokładnie w swojej pracy Otori i wsp. [16]. Po raz pierwszy o takich kryptach wspominał Deschner w 1983 roku, opisując krypty, w których strefa proliferacyjna obejmowała warstwy powierzchniowe nabłonka jelitowego. Powiększone jądra, często nawarstwione, redukcja komórek kubkowych i rozgałęzione wieloramiennie krypty są charakterystyczne dla tego rodzaju ACF [17]. Często u tych samych pacjentów występują one obok ACF hiperplastycznych i mikrogruczolaków. Ogniska ACF w I^o nieprawidłowości są dużymi ogniskami zawierającymi średnio około 100 krypt. Indeks mitotyczny jest wyższy niż w ACF hiperplastycznych a mniejszy niż w mikrogruczolakach. Otori i wsp. udowadniają w swojej pracy, że ACF w I^o nieprawidłowości są formą przejściową między ACF hiperplastycznym i mikrogruczolakiem, co może być również patogenetycznym ogniwem łączącym ACF hiperplastyczny- gruczolak ząbkowany i rak gruczołowy jelita grubego [16].

ACF mieszane Ryc. 4 - zawierają cechy normalnych, hiperplastycznych i dysplastycznych ACF w obrębie jednego ogniska. Nascimbeni i wsp. w swojej pracy wykazali, że ACF mieszane są najczęściej dużymi ogniskami, a współistnienie w jednym ognisku dwóch rodzajów krypt, może sugerować przemianę hiperplastycznych ACF do dysplastycznych [8]. Występowanie w jednym ognisku ACF typowych i hiperplastycznych, może sugerować przekształcenie tych pierwszych w hiperplastyczne.

Hyperplastic ACF – Fig. 2 – with phenotype similar to hyperplastic polyps. The above ACF are characterised by fissured gland orifices, while goblet cells with excess mucus are localized in the upper gland areas, the proliferation area of the intestinal endothelium expands taking over 2/3 of the lower intestinal crypts. Elongated crypts may end with glands with two or three branches. At times, Paneth cells appear at crypt bases in the intestinal endothelium. Intestinal endothelium cells contain insignificantly enlarged foci with vesicular cytoplasmic protrusions without spurious foci accumulation. MDF occurrence is sporadic. Perifocal lymphoid nodules are present in nearly 40% of hyperplastic ACF. The number of intestinal glands in an ACF agglomeration may reach up to 150. Apoptotic bodies in the cells of intestinal endothelium occur sporadically [14]. The most common location of hyperplastic ACF is the rectum and the left part of the colon. Often, they are elevated above the surrounding regular mucosa of the large intestine [12].

Dysplastic ACF – Fig. 3 – contain cells with enlarged vesicular and aggregated foci that lost their regular polarization. They are frequently characterised by prominent nuclei of different shapes. The intensification of the above morphological lesions depends on dysplasia advancement. The mitotic activity of intestinal absorptive cells is located in the 1/3 portion of the upper crypt [11, 14]. Moreover, the ratio between the cytoplasm and the nucleus in such cells is shifted towards the latter one. Goblet cells in the intestinal endothelium are sporadic, whereas MDF agglomerations tend to be numerous. Mucin occurs in the form of vacuoles or appears in the crypt lumen, extracellularly, often in an irregular arrangement. The occurrence of numerous apoptotic bodies is also observed, to a much greater extent as compared with other ACF forms. Co-occurrence of lymphoid nodules and lymphocyte aggregations is 3-8 times more common than in the surrounding mucosa or other ACF forms [14]. Gland orifices are characterised by an elliptical shape. The ACF of this type are more commonly detected in caecum and the ascending colon. It is worth emphasising that they are present in nearly all FAP patients (Familial Adenomatous Polyposis). They are also more common in patients with adenomas and colorectal cancer. When discussing dysplastic ACF it is necessary to mention stage I abnormality ACF described in detail by Otori and others [16]. Such crypts were described for the first time by Deschner in 1983 while he provided the characterisation of crypts with proliferation area encompassing the superficial layers of intestinal endothelium. Accumulation of enlarged foci, reduced goblet cells and crypts with multiple branches are the characteristic properties of this ACF type [17]. Frequently they occur in the same patients next to hyperplastic ACF and microadenoma. Stage I abnormality ACF agglomerations are large and contain on average ca.100 crypts. The mitotic index is higher as compared with hyperplastic ACF, however lower than the one estimated for microadenomas. Otori and others prove in their work that stage I abnormality ACF constitute a transitional form between hyperplastic ACF and a microadenoma, which may also be a pathogenetic link between hyperplastic ACF, serrated adenoma and colorectal cancer [16].

Mixed ACF – Fig. 4 – with the features of normal, hyperplastic and dysplastic ACF within a single agglomeration. Nascimbeni and others revealed in their work that mixed ACF commonly constitute large agglomerations, whereas concomitance of two crypt types within a single agglomeration may suggest hyperplastic ACF transformation towards the dysplastic form [8]. The presence of typical and hyperplastic ACF within a single agglomeration may, on the other hand, suggest transformation of the former into hyperplastic forms.

MOLECULAR CONDITIONS

The majority of ACF occurring in FAP is histologically, genotypically and phenotypically different from sporadic ACF. The agglomerations of abnormal crypts appearing in FAP generally consist of dysplastic forms [18]. In FAP-related ACF, APC mutation is more frequent (100%) than k-ras mutation (sporadic).

UWARUNKOWANIA MOLEKULARNE

Większość ACF występujących w FAP jest histologicznie, genotypowo i fenotypowo różna od sporadycznych ACF. Ogniska nieprawidłowych krypt występujące w FAP są w większości dysplastyczne [18]. W ACF związanych z FAP występuje częściej APC mutacja (100%) niż k-ras mutacja (sporadycznie). Zaburzenia metylacji pojawiają się sporadycznie przy czym stwierdza się wzrost cytoplazmatycznej i jądrowej ekspresji beta-cateniny. W swoim badaniu Nucci i wsp. stwierdzili obecność antygeny grupowego krwi Lewis-a i Lewis-b oraz wzrost ich ekspresji w różnych rodzajach ACF [13]. Pewien odsetek komórek tworzących ACF wykazuje monoklonalność, co oznacza, że pochodzą one od jednej „złędzonej” komórki. Tego typu sytuacja częściej była stwierdzana w ACF z dysplazją i w komórkach atypowych [19/19]. Może to być wskazówką, że komórki wykazujące monoklonalność mają silny związek z progresją nowotworową. Podobnie jak w raku jelita grubego i gruczolakach w ACF stwierdza się z różną częstością niestabilność mikrosatelitarną, oraz mutację genów -ras i APC. W ACF K-ras mutacja występuje z częstością 69-100%. Pojawia się ona częściej w ACF klasyfikowanych jako typowe i hiperplastyczne, natomiast rzadziej w ACF dysplastycznych [1,20,21,22]. Stwierdzono, że większe ogniska ACF mają mniejszy odsetek K-ras mutacji niż mniejsze (ok. 60%). Warto przy tym nadmienić, że K-ras mutacja występuje częściej w ACF sporadycznych niż ACF związanych z FAP. Większa częstość K-ras mutacji występująca w ACF hiperplastycznych i hiperplastycznych polipach między innymi sugeruje, że te pierwsze mogą być prekursorami tych drugich.

W przeciwieństwie do mutacji genów -ras, mutacja genu APC występuje rzadko w ACF, stwierdza się ją zaledwie w kilku procentach przypadków sporadycznych ACF [23]. Częściej występuje w ACF dysplastycznych niż niedysplastycznych [22]. Hipermetylacja wysepek CpG jest również stwierdzana w ACF. Może ona występować w jednym lub wielu loci genowych. Stwierdza się ją częściej w ACF u ludzi z rakiem jelita grubego (kilkadziesiąt procent), a rzadziej w przypadku FAP i gruczolaków (kilkanaście procent) [23,24].

Zaburzenia metylacji wysp CpG w ACF dotyczą najczęściej genów supresorowych i genów mutatorowych takich jak p53, p16, hMLH1, hMSH2. Niestabilność mikrosatelitarna (MSI) w ACF występuje z częstością kilkanaście do 30%, podobnie jak w sporadycznych rakach jelita grubego. Jej częstość wzrasta u ludzi z większym ryzykiem wystąpienia raka jelita grubego oraz w przypadkach HNPCC, gdzie jej częstość może dochodzić do 95% [25]. Najczęściej niestabilność mikrosatelitarna dotyczy genów mutatorowych. W swoim badaniu Greenspan i wsp. pokazali, że częściej MSI występuje w ACF hiperplastycznych i rakach jelita grubego, które powstają na patogenetycznym szlaku od ACF hiperplastycznego przez gruczolaka ząbkowanego na gruczolakoraku kończąc [26]. Podobnie jak gruczolaki jelita grubego zachowują się ACF po długotrwałym przyjmowaniu preparatów kwasu acetylosalicylowego i Sulindaku. Jak podaje Takayama i wsp. [1]. oraz Shpitz i wsp. [27]. widoczne jest zmniejszenie liczby ACF oraz zanik stwierdzanych ACF u osób przyjmujących te preparaty dłużej niż rok. W badaniach genetycznych wykrywano mutację genu p53 w pojedynczych przypadkach ACF [20]. Występowanie mutacji genu p53 w niewielkim odsetku ACF, może między innymi świadczyć o tym, że są one wczesnymi stadiami w karcinogenezie RJG, w którym mutacja p53 występuje z większą częstością Vogelstein i wsp. podają, że mutacja ta występuje w późnych etapach karcinogenezy w RJG [6]. Utrata heterozygotyczności (LOH) w ACF najczęściej była spotykana w obrębie genu (11p11) kodującego białkowy receptor typu J fosfatazy tyrozyny (PTPRJ) i to jedynie wśród ACF badanych u ludzi z rakiem jelita grubego [28/28]. Podobnie jak w raku jelita grubego, tak i w ACF identyfikuje się antygen karcinoembrionalny (CEA) występujący z częstością nawet do 90% [15]. W procesie karcinogenezy RJG zmniejsza się wyraźnie ekspresja błonowa beta-cateniny a zwiększa w cytoplazmie i jądrze komórkowym. W ACF poza obecnością beta-cateniny stwierdza się również inne molekuly adhezyjne jak: P-cadherinę i E-cadherinę. Jak wykazał Cheng i wsp. poziom jądrowej beta-cateniny wyraźnie wzrasta od ACF przez gruczolaki do raka jelita grubego i sugeruje, że ACF i zmiany komórkowej ekspresji beta-cateniny w kolonocytach odgrywają istotną rolę w jelitowej kancerogenezie [15].

Methylation disorders occur sporadically, yet the cytoplasmatic and nuclear beta-catenin expression increase is observable. In their research, Nucci and others, confirmed the presence of the blood group antigen Lewis-a and Lewis-b as well as an increase in their expression in various ACF types [13]. A certain proportion of cells making up the ACF indicate monoclonality, which means that they originate from a single "stray" cell. Such a situation was more commonly observed in dysplastic ACF and atypical cells [19/19]. This may be an indication that cells with the traits of monoclonality are deeply related to cancer progression. Similarly to colorectal cancer and adenomas, the ACF display various levels of microsatellite instability and -ras and APC gene mutation. K-ras mutation in the ACF occurs with the frequency of 69-100%. It is more common in the ACF classified as typical and hyperplastic, and rare in dysplastic ACF [1, 20, 21, 22]. It was noted that larger ACF agglomerations are characterised by a smaller ratio of K-ras mutations as compared with the smaller ones (ca. 60%). It is also worth mentioning that K-ras mutation is more frequent in sporadic ACF than in FAP-related ACF. A higher K-ras mutation frequency occurring in hyperplastic ACF and hyperplastic polyps suggests, among other things, that the former may be precursors of the latter. As opposed to -ras gene mutation, the mutation of the APC gene in ACF is rare, as it is observed only in several per cent of the cases of sporadic ACF [23]. It is more frequent in dysplastic ACF than non-dysplastic ones [22]. Hypermethylation of CpG islands is also observable in ACF. It may occur in one or two gene loci. It is more common in the ACF of patients with colorectal cancer (a few dozen per cent), and less frequent in the case of FAP and adenoma (below twenty per cent) [23, 24]. CpG island methylation disorders in ACF mainly concern suppressor and mutator genes, such as p53, p16, hMLH1 and hMSH2.

Microsatellite instability (MSI) in ACF appears at the rate of less than twenty to 30%, similarly to sporadic colorectal cancers. Its incidence is higher in people with an elevated risk of colorectal cancer, as well as in the cases of HNPCC, where it may reach as much as 95% [25]. Usually, microsatellite instability concerns mutator genes. Greenspan and co-authors showed in their study that the most common MSI occurrence is observed in hyperplastic ACF and colorectal carcinoma resulting from the pathogenetic process starting from hyperplastic ACF, through serrated adenoma to invasive carcinoma [26]. The ACF after long-term administration of acetylsalicylic acid and Sulindak behaved similarly to colon adenoma. According to Takayama and others [1] and Shpitz and others [27] a significant reduction in ACF number as well as ACF disappearance was noted in patients taking the above medicines for a period exceeding a year.

The conducted genetic tests revealed gene p53 mutation in individual ACF cases [20]. The occurrence of gene p53 mutation in a small ACF proportion may mean, among other things, that they constitute an early stage in the CRC carcinogenesis, where p53 mutation is more frequent. In the study by Vogelstein and co-authors we read that this particular mutation occurs in late CRC carcinogenesis stages [6]. Loss of heterozygosity (LOH) in ACF was most commonly encountered within the gene (11p11) coding the protein receptor-type protein-tyrosine phosphatase J (PTPRJ) only among the ACF examined in patients with colorectal carcinoma [28/28]. As it is the case with the colorectal cancer, also in ACF we identify carcino-embryonic antigen (CEA) with the occurrence rate reaching even 90% [15]. In the CRC carcinogenesis process beta-catenin expression in the membrane is visibly reduced; however, it increases in the cytoplasm and the cell nucleus. Besides the presence of beta-catenin in ACF we may also detect other adhesive molecules, such as: P-cadherin and E-cadherin.

According to Cheng and others, the nuclear beta-catenin level is characterised by a significant increase in the process from ACF through adenoma to colorectal cancer, which implies that ACF concomitant with changes in the cellular beta-catenin expression in colonocytes play an important role in intestinal carcinogenesis [15]. Normal and hyperplastic ACF are characterised by correct membranous location of beta-catenin, as it is the case with normal colonocytes.

W ACF normalnych i hiperplastycznych stwierdza się prawidłową-błonową lokalizację beta-cateniny, podobnie jak w prawidłowych kolonocytach. W ACF dysplastycznych widoczna jest redukcja błonowej ekspresji beta-cateniny a wyraźny wzrost cytoplazmatycznej i jądrowej (54%). ACF są stosunkowo łatwo wykrywalnymi zmianami. Cechuje je znaczna różnorodność histologiczna, genotypowa i fenotypowa. Mogą być prekursorami gruczolakoraków jelita grubego w dwóch ścieżkach: zależnej od APC mutacji (przez dysplastyczny ACF i gruczolaka) oraz zależnej od K-ras mutacji, MSI i hipermetylacji DNA (przez hiperplastyczny ACF i gruczolak ząbkowany). Jak wykazują liczne badania ACF mają epidemiologiczne, biochemiczne, genetyczne i morfologiczne cechy podobne do gruczolakoraków jelita grubego. Zatem mogą być traktowane jako pierwsze, identyfikowalne prekursory raka jelita grubego.

Dysplastic ACF reveal a visible reduction in the membranous beta-catenin expression as well as a distinct increase in cytoplasmatic and nuclear expression (54%). ACF are regarded as relatively easily detectable lesions. They are characterised by considerable histological, genotypic and phenotypic diversity. They are presumable precursors of invasive carcinoma of the large intestine by following either of the two pathways: APC-dependent mutation (through dysplastic ACF and adenoma) and K-ras-dependent mutation, MSI and DNA hypermethylation (through hyperplastic ACF and serrated adenoma). According to numerous studies, ACF are characterised by epidemiological, biochemical, genetic and morphological traits similar to the invasive carcinoma of the large intestine. Thus, they may be perceived as the first identifiable precursors of colorectal cancer.

BIBLIOGRAPHY

1. Takayama T, Katsuki S, Takahashi Y i wsp. Aberrant crypt foci of the colon as precursors of adenoma and cancer *N Engl J Med* 1998; 339: 1277-84;
2. Sandforth F, Heimpel S, Balzer T i wsp. Characterization of stereomicroscopically identified preneoplastic lesions during dimethylhydrazine-induced colonic carcinogenesis. *Eur J Clin Invest* 1988; 18(6): 655-62;
3. Bird RP Observation and quantification of aberrant crypts in the murine colon treated with a colon carcinogen: preliminary findings. *Cancer Lett* 1987; 37(2): 147-51;
4. Kinzler KW, Vogelstein B Lessons from hereditary colorectal cancer. *Cell* 1996; 87(2): 159-70;
5. Pretlow TP, Barrow BJ, Ashton WS i wsp. Aberrant crypts: putative preneoplastic foci in human colonic mucosa. *Cancer Res* 1991; 51: 1564-67;
6. Vogelstein B, Fearon E, Hamilton S i wsp. Genetic alteration during colorectal- tumor development *N Engl J Med* 1988; 319: 525-532;
7. Muto T, Bussey HJR, Morson BCM The evolution of cancer of the colon and rectum. *Cancer* 1975; 36(6): 2251-70;
8. Nascimbeni R, Villanacci V, Mariani PP i wsp. Aberrant crypt foci in the human colon: frequency and histologic patterns in patients with colorectal cancer or diverticular disease. *Am J Surg Pathol* 1999; 23: 1256-63;
9. Pretlow P, Pretlow TG Mutant KRAS in aberrant crypt foci (ACF): initiation of colorectal cancer? *Biochim Biophys Acta* 2005; 1756: 83-96;
10. Alrawi SJ, Schiff M, Carrol RE i wsp. Aberrant crypt foci. *Anticancer Res* 2006; 26: 107-119;
11. Di Gregorio C, Losi L, Fante R i wsp. Histology of aberrant crypt foci in the human colon. *Histopathology* 1997 ; 30(4): 328-34 ;
12. Fenoglio-Preiser CM, Noffsinger A Review article: Aberrant crypt foci: A Review. *Toxicol Pathol* 1999; 27: 632-642;
13. Nucci MR, Robinson CR, Longo P Phenotypic and genotypic characteristics of aberrant crypt foci in human colorectal mucosa. *Hum Pathol* 1997; 28: 1396-1407;
14. Shpitz B, Bomstein Y, Mekori Y i wsp. Aberrant crypt foci in human colons: Distribution and histomorphologic characteristics. *Hum Pathol* 1998; 29: 469-475;
15. Cheng L, Lai MD Aberrant crypt foci as microscopic precursors of colorectal cancer. *World J Gastroenterol* 2003; 9(12): 2642-9;
16. Otori K, Sugiyama K, Hasebe T i wsp. Emergence of adenomatous aberrant crypt foci (ACF) from hyperplastic ACF with concomitant increase in cell proliferation. *Cancer res* 1995; 55: 4743-6;
17. Deschner EE Adenomas: preneoplastic events, growth and development in man and experimental system. *Pathol Annual* 1983; 18(1): 205-219;
18. Roncucci L, Stamp D, Medline AA i wsp. Identification and quantification of aberrant crypt foci and microadenomas in the human colon. *Hum Pathol* 1991; 22: 287-94;

19. I-Mei Siu, Robinson DR, Schwarz S i wsp. The identification of monoclonality in human aberrant crypt foci. *Cancer Res* 1999; 59: 63-66;
20. Losi L, Roncucci L, Di Gregorio C i wsp. K-ras and p53 mutations in human colorectal aberrant crypt foci. *J Pathol* 1996; 178: 259-263;
21. Shivapurkar N, Huang L, Ruggeri B i wsp. K-ras and p53 mutations in aberrant crypt foci and colonic tumors from colon cancer patients. *Cancer Lett* 1997; 115: 39-46;
22. Smith AJ, Stern HS, Penner M i wsp. Somatic APC and K-ras codon 12 mutations in aberrant crypt foci from human colons. *Cancer Res* 1994; 54: 5527-5530;
23. Jen J, Powell SM, Papadopoulos N i wsp. Molecular determinants of dysplasia in colorectal lesions. *Cancer Res* 1994; 54: 5523-5526;
24. Chan AO, Broaddus RR, Houlihan PS i wsp. CpG Island Methylation in Aberrant Crypt Foci of the Colorectum. *Am J Pathol* 2002; 160: 1823-1830;
25. Rashid A, Shen L, Morris JS i wsp. CpG island methylation in colorectal Adenomas. *Am J Pathol* 2001; 159: 1129-1135;
26. Greenspan EJ, Cyr JL, Pleau DC i wsp. Microsatellite instability in aberrant crypt foci from patients without concurrent colon cancer. *Carcinogenesis* 2007; 28(4): 769-776;
27. Shpitz B, Klein E, Neufeld D i wsp. Suppressive effect of aspirin on aberrant crypt foci in patient with colorectal cancer. *Gut* 2003; 52(11): 1598-1601;
28. Luo L, Shen G.Q, Stiffler K i wsp. Loss of heterozygosity in human aberrant crypt foci (ACF), a putative precursor of colon cancer. *Carcinogenesis* 2006; 27(6): 1153-1159.

dr med. Marek Kowalczyk
Uniwersytecki Szpital Kliniczny
w Olsztynie
Oddział Kliniczny Chirurgii Ogólnej
i Małoinwazyjnej
Olsztyn ul. Warszawska 30
forel@neostrada.pl

dr med. Wiesław Pesta
Oddział Chirurgii Ogólnej
i Małoinwazyjnej z Ośrodkiem
Chirurgicznego Leczenia Otyłości
Szpital ZOZ, 21-010 Łęczna
ul. Krasnystawska 52
wieslaw.pesta@vp.pl

dr hab. med. Krzysztof Zinkiewicz
II Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej,
Gastroenterologicznej i Nowotworów
Układu Pokarmowego
Uniwersytet Medyczny w Lublinie
SPSK 1 ul. Staszica 16 20-081 Lublin
kzinek@yahoo.com

dr hab. med. Agnieszka Pedrycz
Katedra i Zakład Histologii i Embriologii
z Pracownią Cytologii Doświadczalnej
Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
ul. Radziwiłłowska 11 20-080, Lublin
e-mail: apw4@wp.pl

prof. dr hab. n. med. Krzysztof Paśnik
Klinika Chirurgii Ogólnej, Onkologicznej,
Metabolicznej i Torakochirurgii CSK
MON WIM (lub Military Hospital)
Warszawa ul Szaserów 128
kpasnik@gmail.com

dr med. Piotr Siermontowski
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
e-mail: nurdok@tlen.pl

dr n. med. Marcin Orłowski
Przychodnia Lekarska Nowy Chęlm
Sp z o.o
Centrum Diagnostyki i Terapii Chorób
Przewodu Pokarmowego
ul. Chałubińskiego 23 80-807, Gdańsk
tel/fax: 48 58 3036210
m.orlowski@przychodniachelm.pl

dr med. Waldemar Kurpiewski
Uniwersytecki Szpital Kliniczny
w Olsztynie
Oddział Kliniczny Chirurgii Ogólnej
i Małoinwazyjnej
Olsztyn ul. Warszawska 30

dr med. Wit Juśkiewicz
Uniwersytecki Szpital Kliniczny
w Olsztynie
Oddział Kliniczny Chirurgii Ogólnej
i Małoinwazyjnej
Olsztyn ul. Warszawska 30

mgr Iwona Kowalczyk
Uniwersytecki Szpital Kliniczny w Olsztynie
Dział Diagnostyki Laboratoryjnej z Bankiem Krwi

Zgodnie z teorią Vogelsteina karcinogeneza w raku jelita grubego (RJG) jest wieloetapowym i wielopoziomowym procesem zaburzenia regulacji dojrzewania nabłonka błony śluzowej jelita, począwszy od prawidłowej komórki macierzystej tego nabłonka, przez ogniskanie prawidłowych krypt jelitowych (ACF), następnie stadium gruczolaka/dysplazji, na gruczolakoraku kończąc. ACF są niewidoczne w rutynowej kolonoskopii, natomiast dobrze identyfikowalne w kolonoskopii o wysokiej rozdzielczości, połączonej z barwieniem błony śluzowej jelita grubego, przy użyciu błękitu metylenowego lub indygokarminu.

W porównaniu z obrazem endoskopowym prawidłowych krypt, w ACF ujście krypt jest 2-3x większe, szczelinowatego i/lub gwiazdkowatego kształtu, przy czym te krypty są otoczone pogrubiałym nabłonkiem a na obszarze ACF błona śluzowa jelita grubego intensywniej chłonie (ciemniejsze wybarwienie się) znacznikowy barwnik. W badaniu mikroskopowym ACF stwierdza się gniazda składające się z od kilku do 200 gruczołów jelitowych, objętych różnego typu zmianami (rozrostowymi i/lub dysplastycznymi) dotyczącymi zarówno cyto-, jak i histoarchitektoniki.

Rozmieszczenie ACF w jelicie grubym dobrze koreluje z obszarem predylekcyjnym dla występowania zarówno polipów, jak i dla raka jelita grubego. Uwarunkowania epidemiologiczne, genetyczne i enzymatyczne w ACF są podobne do występujących w gruczolakach i RJG, wobec czego obecność ACF może być dobrym wskaźnikiem ryzyka wystąpienia RJG. ACF mogą być prekursorami gruczolaków i RJG powstających na dwóch szlakach patogenetycznych karcinogenezy: klasycznym szlaku związanym z mutacją genów APC i K-ras oraz z rzadszym szlakiem patogenetycznym, spowodowanym niestabilnością mikrosatelitarną (MSI), połączoną z hipermetylacją DNA. ACF są powszechnie uważane za pierwsze identyfikowalne morfologicznie (endoskopowo i mikroskopowo) prekursory raka jelita grubego.

ЭНДОСКОПИЧЕСКИЕ, ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАРКЕРЫ ОЧАГОВ АБЕРРАНТНЫХ КРИПТ (АСФ)

В соответствии с теорией Vogelstein, канцерогенеза при раке прямой кишки (CRC) является многоступенчатым и многоуровневым процессом нарушения созревания эпителия слизистой оболочки кишечника, начиная от нормальных эпителиальных стволовых клеток, через очаг неправильных кишечных крипт (ACF), затем стадия аденомы / дисплазия и на окончание аденокарцинома. ACF невидимые в рутинной колоноскопии, тогда как хорошо идентифицируются в колоноскопии высокого разрешения в сочетании с окрашиванием слизистой оболочки толстой кишки, используя метиленовую синь или индигокармин. По сравнению с эндоскопическим изображением нормальных крипт, в ACF устье крипт 2-3 раза больше в форме щели или звезды, при чем эти крипты окружены утолщенным эпителием, а в области ACF слизистая оболочка толстой кишки интенсивно поглощает (темнейшие окраски) маркер краситель. Микроскопическое исследование ACF показывает, что гнездо состоит из нескольких до 200 кишечных желез, обнятых изменениями различными типов (гиперпластических и / или диспластические), касающиеся как цито- так и гисто-архитектоники.

Расположение ACF в толстой кишке хорошо коррелирует с областью склонной к возникновению как полипов, так и колоректального рака. Условия эпидемиологических, генетических и ферментативных ACF аналогичны тем, которые найдены в аденоме и CRC, так что присутствие ACF может быть хорошим индикатором риска CRC. ACF может быть предшественником аденомы и CRC, возникающим на двух путях патогенной канцерогенезу: классическим пути, связанным с мутацией гена APC и KRas и с более редким патогенным путем, вызванным микросателлитной нестабильностью (MSI) в сочетании с гиперметилированием ДНК. ACF, по праву принято считать первым морфологически идентифицируемые (эндоскопически и микроскопически) прекурсоры рака толстой кишки.

Ключевые слова: колоректальный рак, хромоэндоскопия, ACF.

ISSN 1734 - 7009