

Nr 2 (47)2014

*ISSN 1734 - 7009
e-ISSN 2084 - 0535
kwartalnik
czerwiec 2014 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. +48/739058408

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 (Pycckuĭ)

Redaktor statystyczny

Statistical Editor

Adam Olejnik

www.phr.net.pl

Kontakt z redakcją:

81 – 103 Gdynia 3

ul. Grudzińskiego 4 skr. poczt. 18

tel. +48/ 73 9058408

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.

Pierwotną wersją każdego artykułu jest wersja angielska.
The original version of each article is the English version.

Artykuły nadsyłane do druku recenzowane są zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Nauki.
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. 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.
Dbając o prawa autorskie do przeprowadzanych badań a także rzetelność procesu recenzowania
Redakcja Polish Hyperbaric Research zapewnia brak konfliktu interesów pomiędzy autorami
a recenzentami.

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.
In an effort to protect the copyrights to the conducted research as well as to ensure reliability of
the reviewing process the editorial staff of Polish Hyperbaric Research hereby guarantees that
there is no conflict of interest between the authors and the reviewers.

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 2014

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 / Editorial Board

prof. Andrzej Buczyński, M.D., Ph.D.; prof. Ugo Carraro, M.D., Ph.D. (Italy); prof. Grzegorz Cieślak, M.D., Ph.D.; prof. Adam Charchalis, Ph.D., Eng.; Didier Chollet Ph.D. associate prof. (France); prof. Krzysztof Chomiczewski, M.D., Ph.D.; prof. Mario J. Costa Ph.D. (Portugal); prof. Claude Cuvelier, M.D., Ph.D. (Belgium); John T. Fitter, M.D., Ph.D. (Australia); Tadeusz Graczyk, Ph.D., Eng. associate prof.; prof. Siergiej Gulyar, M.D., Ph.D. (Ukraine); Grzegorz Kowalski, Ph.D., Eng.; prof. Arvils Lielvards, Ph.D. (Latvia); prof. Sam Mesiano (USA); prof. Igor Murawow, Ph.D. (Ukraine); prof. Motomu Nakashima, Ph.D., Eng. (Japan); prof. Krzysztof Narkiewicz, M.D., Ph.D.; Katarzyna Ostapowicz, M.D., Ph.D. associate prof.; prof. Agnieszka Pedrycz, M.D., Ph.D.; prof. Manny Radomski, (Canada); Marek Rejman, Ph.D. associate prof.; prof. Yoshimitsu Shimoyama, Ph.D. (Japan); prof. Aleksander Sieroń, M.D., Ph.D.; prof. António J. Silva, Ph.D. (Portugal); prof. Roger Smith, M.D., Ph.D. (Australia); prof. Robert Keig Stallman Ph.D. (Norway); Paweł Zarzycki, Ph.D., associate prof.

INSTRUKCJA DLA AUTORÓW

Materiał nadesłany do druku w PolHypRes powinien być napisany w całości czcionką Arial, Times New Roman lub Cambria 9 pcs w jednolitym stylu, bez podkreśleń, wersalików i kapitalików. Wykorzystanie pogrubienia czcionki i kursywy należy ograniczyć do niezbędnego minimum. W całym tekście należy zachować pojedyncze odstępy pomiędzy wierszami i normalne odstępy pomiędzy znakami. Wszystkie marginesy 2 cm, bez marginesu na oprawę, akapit 1,25 cm. Strona A4.

Plik zawierający cały artykuł wraz z rysunkami i fotografiami nie może być większy niż 5 MB. Materiał powinien być opracowany w języku polskim i/lub angielskim za pomocą edytora tekstów MS Word (plik .doc, nie docx!). Na pierwszej stronie: pełne imię i nazwisko autora (autorów), ze wskazaniem autora do korespondencji i jego dane teleadresowe. Następnie, w języku polskim i angielskim: afiliacje poszczególnych autorów, tytuł pracy, streszczenie nie dłuższe niż 250 słów z zachowanym podziałem na wstęp, materiał i metody, wyniki i ich omówienie (dla prac oryginalnych), słowa kluczowe, nie mniej niż 3. Ten sam układ rozdziałów wzbogacony o wnioski również we właściwej pracy. Jeżeli badania były wykonywane na zlecenie, w ramach grantu, pracy statutowej itd., należy podać źródło finansowania. Przypisów dolnych nie stosujemy.

Liczba autocytowań nie może przekroczyć 20% pozycji piśmiennictwa. Bibliografię podajemy według stylu Vancouver; numeracja cytowań odpowiada kolejności występowania w tekście, gdzie są oznaczane cyframi arabskimi w nawiasach kwadratowych na końcu zdania i przed kropką.

Tabele, wyłącznie - białe czarne, w tekście wyśrodkowane, komórki tabel wyśrodkowane, tekst tabeli czcionką Cambria 11 pcs. Opis tabeli czcionką Arial 8 pcs. Linie tabeli jedynie poziome, bez cieniowania.

Ilustracje czarno-białe, w uzasadnionych przypadkach kolorowe. Opis czcionką Arial 7 pcs. Zdjęcia w rozdzielczości minimum 300 dpi. Dopuszcza się jednolitą numerację dla rysunków i zdjęć. Ilustracje w formacie umożliwiającym ich edycję (*.jpg, *.tif). Wykres wygenerowany za pomocą pakietu MS Excel nadsyłać należy z arkuszem źródłowym, jeśli wykres wygenerowanym w innym oprogramowaniu np. Statistica to jako plik graficzny (*.jpg, *.tif). Grafika wektorowa, nie rastrowa.

Równania należy tworzyć edytorem równań programu MS Word. Pod równaniem należy wyjaśnić wszystkie zastosowane w nim skróty i symbole. W przypadku większej ilości równań w tekście dopuszczalne jest nadesłanie pracy w formacie .docx.

Szczegółowa instrukcja dla autorów znajduje się na stronie internetowej PolHypRes

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Material submitted for print in PolHypRes should be written entirely in Arial, Times New Roman or Cambria 9 pcs font in uniform style, without underlining, capitals or small capitals. The use of boldface and italics should be limited to a minimum. The whole text should maintain single spacing between paragraphs and normal spacing between characters. With the page being A4, all margins should be set at 2 cm, paragraph 1.25 cm, without leaving a margin for a frame.

The size of a file containing a full article with figures and photographs must not exceed 5 MB. The material should be prepared in Polish and/or English language with the use of text editor software MS Word (.doc file, not docx!).

The first page should contain: first name and surname of the author(s) along with their correspondence address. Next, both in Polish and English, authors should provide: affiliations of particular authors, the title of the work along with an abstract of a maximum of 250 words (with a division into introduction, material and methods, results and discussion (for original works) and key words - this last being not less than 3 in number). The article should have the same structure, extended with conclusions. If a research was commissioned within a certain grant, statutory work, etc. it is required to specify the source of financing. It is recommended not to use footnotes.

The number of auto-citations must not exceed 20% of the bibliography items. The bibliography is to be provided in Vancouver style; the numbering of citations should be correspondent to the order of their occurrence in the text, where they will be marked with Arabic numerals provided in square brackets at the end of a sentence and before the full stop.

Tables should be black and white only, be middle spaced in the text, with centralised cells, and text provided in Cambria 11 pcs. Only horizontal lines, without shading effects, are allowable in tables. Table descriptions should be provided in Arial 7 pcs.

Illustrations should be black and white, but in substantiated cases can be colour. Descriptions should be in Arial 8 pcs, whilst photographs should be of a minimum resolution of 300 dpi. It is allowable to have uniform numbering of figures and photographs. Illustrations should be provided in an editable format (*.jpg, *.tif). Charts generated with the use of the MS Excel package should be submitted together with source sheets; if charts are generated with the use of a different software, e.g. Statistica, it should take the form of a graphic file (*.jpg, *.tif). Vector graphics, not raster.

Equations should be created with the equation editor of MS Word. It is required to provide an explanation of all the applied abbreviations and symbols. In the case of a larger number of equations in a text it is allowable to submit text in the .docx format.

Detailed instruction for authors is available at the PolHypRes website.

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2014 NUMER 2 (47)

SPIS TREŚCI



MEDYCYNĄ

- D. Kaczerska, K. Pleskacz, P. Siermontowski**
Prognozowanie ryzyka wystąpienia stresu dekompresyjnego po nurkowaniach powietrznych. str. 7
- R. Kłós**
Patofizjologia toksycznego oddziaływania tlenu. Zagrożenie tlenową toksycznością ośrodkową cz. 2...... str. 15

.TECHNIKA

- Z. Talaśka, A. Olejnik, T. Graczyk**
Pilotowe badania ankietowe podstawowej znajomości techniki bezzałogowych pojazdów podwodnych...... str. 35

VARIA

- R. Olszański, P. Radziwon, J. Korsak, P. Siermontowski, M. Kozakiewicz**
Ocena zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków...... str. 45
- S. Gulyar**
Świat nieutracony...... str. 53

Z ZA ŻELAZNEJ KURTYNY

- T. Doboszyński, B. Lokucijewski**
Ocena sprawności fizycznej płetwonurków w świetle parametrów wentylacyjnych...... str. 59
- R. Olszański, K. Dęga**
*Twórca medycyny podwodnej i hiperbarycznej w Polsce [wspomnienie]
kmdr prof. dr hab. med. Tadeusz Doboszyński.*..... str. 69

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2014 NUMBER 2 (47)

LIST OF CONTENT



MEDICINE

D. Kaczerska, K. Pleskacz, P. Siermontowski.
Prognostication of the risk of an occurrence of decompression stress following air dives..... p. 7

R. Kłós
The pathophysiology related to the toxic effect of oxygen. The hazard of central oxygen toxicity Part 2..... p. 15

.TECHNOLOGY

Z. Talaśka, A. Olejnik, T. Graczyk
Pilot survey studies on basic knowledge on the technology of unmanned underwater vehicles..... p. 35

VARIA

R. Olszański, P. Radziwon, J. Korsak, P. Siermontowski, M. Kozakiewicz
The evaluation of the risk of decompression sickness in divers..... p. 45

S. Gulyar
A world that is not lost..... p. 53

FROM BEHINDE THE IRON CURTAIN

T. Doboszyński, B. Lokucijewski
The evaluation of physical fitness of divers with regard to ventilation parameters..... p. 59

R. Olszański, K. Dęga
*Creator of underwater and hyperbaric medicine in Poland (memoir) –
Prof. Leszek Piasecki Ph.D., M.D.....* p. 69

PROGNOSTICATION OF THE RISK OF AN OCCURRENCE OF DECOMPRESSION STRESS FOLLOWING AIR DIVES

PROGNOZOWANIE RYZYKA WYSTĄPIENIA STRESU DEKOMPRESYJNEGO PO NURKOWANIACH POWIETRZNYCH

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА ДЕКОМПРЕССИОННОГО СТРЕССА ПОСЛЕ ПОГРУЖЕНИЙ НА ВОЗДУХЕ

Dorota Kaczerska¹⁾, Katarzyna Pleskacz²⁾, Piotr Siermontowski³⁾

- 1) Department of Clinical Nutrition, Medical University of Gdańsk, Poland
- 1) Katedra Żywnienia Klinicznego, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk
- 2) ITC Department, Military Institute of Medicine, Warsaw, Poland
- 2) Oddział Teleinformatyki, Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa
- 3) Maritime and Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine, Gdynia, Poland
- 3) Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej w Gdyni, Wojskowy Instytut Medyczny

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The objective of the work was to investigate the impact of postprandial hypertriglyceridemia on the risk of an occurrence of decompression stress following hyperbaric air exposures. The study was conducted on 55 men aged between 20 and 48 years old (the average age 31.47±5.49 years), with a BMI value within the range of 20.3 – 33.2 kg/m² (25.5±2.58 kg/m²). The participants' blood was drawn for tests 2 hours after a meal. The following parameters were defined: morphology, aspartate aminotransferase (AST) activity, alanine transaminase (ALT) activity, total cholesterol concentration and triglyceride concentration. Following each exposure, three Doppler ultrasound examinations were performed in order to determine the occurrence and intensification of decompression stress. Decompression stress was noted in 30 men. Postprandial hypertriglyceridemia and hypercholesterolemia were proven to raise the risk of occurrences of decompression stress after hyperbaric air exposures. The application of logistic regression allows a mathematical prediction of the risk associated with an occurrence of decompression stress following hyperbaric air exposures.

Key words: decompression stress, hypertriglyceridemia, diver.

Celem pracy było wykazanie wpływu hipertriglicerydemii poposiłkowej na ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego, po powietrznych ekspozycjach hiperbarycznych. Do badań zakwalifikowanych zostało 55 mężczyzn, w wieku 20 – 48 lat (31,47±5,49 lat), wartość BMI mieściła się w zakresie 20,3 – 33,2 kg/m² (25,5±2,58 kg/m²). Uczestnikom 2 godz. po spożyciu posiłku zgodnego z preferencjami żywieniowymi danej osoby, pobierano krew do badania, w celu oznaczenia następujących parametrów: morfologia, aktywność aminotransferazy asparaginianowej (AST), aktywność aminotransferazy alaninowej (ALT), stężenie cholesterolu całkowitego i triglicerydów. Po każdej ekspozycji hiperbarycznej metodą Dopplera, oceniano występowanie i nasilenie stresu dekompresyjnego. Stres dekompresyjny stwierdzono u 30 badanych. Hipertriglicerydemia i hipercholesterolemia poposiłkowa zwiększała ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego, po powietrznych ekspozycjach hiperbarycznych. Zastosowanie metody regresji logistycznej, pozwala na matematyczne prognozowanie ryzyka wystąpienia stresu dekompresyjnego, po powietrznych ekspozycjach hiperbarycznych.

Słowa kluczowe: stres dekompresyjny, hipertriglicerydemia, nurek.

The summary in Russian on end of the publication.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 7 – 14

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.1

Pages: 8, figures: 0, tables: 1.

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 26.03.2014 r

Termin zatwierdzenia do druku: 10.05.2014 r

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

W trakcie nurkowania dochodzi do sprężania i fizycznego rozpuszczania gazów obojętnych, w płynach ustrojowych i tkankach. Na ilość gazu rozpuszczonego ma wpływ głównie głębokość i czas nurkowania. Proces dekompresji powinien zapewnić bezpieczne, fizjologiczne usunięcie nadmiaru gazu z organizmu. Jednak należy podkreślić fakt, że każde obniżenie ciśnienia, również prawidłowo prowadzonego zgodnie z zasadami dekompresji, zakłóca równowagę między fazami gaz - ciecz, co umożliwia tworzenie się pęcherzyków gazowych w płynach ustrojowych i tkankach. Nieprawidłowo prowadzona dekompresja, uniemożliwiająca usunięcie nadmiaru gazu z organizmu, zwiększa ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej [1, 2].

Stres dekompresyjny jest to występowanie po ekspozycji hiperbarycznej, we krwi, bezobjawowych pęcherzyków gazu. Choć nie zawsze prowadzi one do wystąpienia objawów choroby ciśnieniowej (DCS), to ich obecność nie jest całkowicie obojętna dla organizmu. Poza możliwością powstawania zatorów gazowych, a więc działaniem czysto mechanicznym, pęcherzyki gazu są dla organizmu ciałem obcym w krwioobieg i na granicy fazy ciekłej i gazowej wywołują różne reakcje. Dochodzi do opłaszczania ich krwinkami płytkowymi i powstawania mikroskrzeplin, które pozostają w układzie krążenia nawet po eliminacji pęcherzyków.

Z tego powodu, możliwość powstawania mikrozatorów, szczególnie w krążeniu płucnym jest znaczna. Im większa liczba i rozmiar pęcherzyków, tym działanie ich jako ciała obcego jest intensywniejsze, a powtarzane ekspozycje powodują nawarstwianie następstw.

Opłaszczone mikroskrzeplinami nieliczne pęcherzyki, bądź same mikroskrzepliny, są w stanie zatykać naczynia włosowate lub przedwłosowate, co jednorazowo nie daje żadnych objawów i widocznych zmian patologicznych.

Jednak wiele zsumowanych epizodów mikrozatorowości prowadzi do uszkodzeń szczególnie tkanek wrażliwych na niedotlenienie. W trakcie dekompresji, może również dojść do uszkodzenia tkanki tłuszczowej i uwolnienie do krwioobiegu lipidów lub całych adipocytów i nałożenie na zatorowość gazową zatorowości tłuszczowej. W takim przypadku, leczenie rekompresją nie daje oczekiwanych efektów terapeutycznych [3 - 13].

Otyłość uważana jest za istotny czynnik ryzyka choroby ciśnieniowej, w związku z większym magazynowaniem gazu obojętnego przez tkanki, zawierające tłuszcz. Rozpuszczalność azotu w tłuszczach jest 5,2 razy większa niż w tkankach uwodnionych. Dodatkowym anatomicznym czynnikiem predysponującym jest ubogie unaczynienie tkanki tłuszczowej, co spowalnia eliminację gazu obojętnego, w stosunku do tkanek uwodnionych. Uważa się, że nadwaga zwiększa statystyczne zagrożenie wystąpienia choroby ciśnieniowej [14, 15].

Oprócz tkanki tłuszczowej, mogącej zwiększać objętość rozpuszczonego gazu obojętnego, podczas kompresji należy uwzględnić tłuszcze krążące we krwi, które także zwiększają rozpuszczalność gazów obojętnych. Ze względu na długi czas metabolizmu tłuszczów, dieta bogato tłuszczowa (szczególnie posiłek spożyty bezpośrednio przed ekspozycją hiperbaryczną) będzie zdecydowanie podnosić poposiłkowy poziom

INTRODUCTION

In the course of diving, inert gases in bodily fluids and tissues are subject to compression and physical dissolution. The quantity of the dissolved gas is determined by the depth and duration of a dive and the process of decompression should ensure safe physiological disposal of excess gas from an organism. However, it should be stressed that each pressure decrease, even those carried out in accordance with the decompression principles, upsets the balance between the gas - liquid phases, which facilitates the production of gas bubbles in bodily fluids and tissues. Incorrect decompression impedes the disposal of excess gas, thus increasing the risk of an occurrence of decompression sickness [1, 2].

Decompression stress consists in the occurrence of symptomless gas bubbles in the blood following a hyperbaric exposure. Although they are not always associated with an onset of the decompression sickness (DCS), their presence is not entirely neutral to the organism.

Besides the possibility of occurrence of gas emboli, i.e. a purely mechanical effect, gas bubbles constitute a foreign body in the blood circulation and induce various reactions at the transition between the liquid and gas phases.

What happens consists in the flattening of the gas bubbles with blood platelets and production of microclots that remain in the circulatory system even after bubble elimination. For this reason, the risk of an occurrence of microemboli, especially in pulmonary circulation, is considerable.

The larger the number and size of the bubbles, the more intense their activity as a foreign body, which when accompanied by repeated exposures, causes an intensification of such an effect. The scanty bubbles, flattened with microclots or the microclots themselves, may clog capillary or precapillary vessels, which on a single occasion does not produce any visible symptoms or pathological changes.

However, numerous episodes of microclotting cause damage to tissues particularly sensitive to hypoxia. During decompression, damage to adipose tissue is possible through the release of lipids or entire adipocytes into the blood circulation, thus enhancing the gas embolism with fat embolism. In this case, recompression treatment fails to accomplish the expected therapeutic results [3 - 13].

Obesity is seen as a significant risk factor related to decompression sickness due to a larger storage of inert gases by tissues containing fats. Nitrogen solubility in fats is 5.2 times higher as compared with hydrated tissues.

An additional predisposing anatomic factor consists of poor vascularisation of adipose tissues, which decelerates the elimination of inert gases as opposed to hydrated tissues. It is believed that being overweight increases the statistical hazard of decompression sickness [14, 15].

Apart from the adipose tissue that may increase the volume of the dissolved inert gas during compression, it is necessary to take into account the fats circulating with the blood, which also augment solubility properties of inert gases. Due to the long duration of fat metabolism, a high-fat diet (especially in relation to meals consumed directly prior to a hyperbaric exposure) will result in a considerable increase in postprandial triglyceride level in the blood serum [16, 17, 18].

triglicerydów w surowicy krwi [16, 17, 18].

W związku z tym dieta bogatołuszczowa może stanowić dodatkowy czynnik ryzyka, zwiększając ilość rozpuszczonego gazu obojętnego we krwi i prawdopodobieństwo wystąpienia stresu dekompresyjnego lub DCS.

CEL PRACY

Celem pracy była ocena wpływu hipertriglicydemii poposiłkowej na ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego u mężczyzn, po powietrznych ekspozycjach hiperbarycznych, ocenianego za pomocą badania ultrasonograficznego, wykonywanego osłuchową metodą Dopplera.

MATERIAŁY I METODA

Do badań zakwalifikowanych zostało 55 mężczyzn w wieku 20 - 48 lat (średnia wieku 31,47±5,49 lat), wartość BMI mieściła się w zakresie 20,3 - 33,2 kg/m² (średnia wartość BMI 25,5±2,58 kg/m²). Uczestnikom 2 godz. po spożyciu posiłku (śniadania), zgodnego z preferencjami żywieniowymi danej osoby, pobierano krew w celu oznaczenia następujących parametrów: morfologia, aktywność, aminotransferazy asparaginianowej (AST), aktywność aminotransferazy alaninowej (ALT), stężenie cholesterolu całkowitego, stężenie triglicerydów. Badania wykonywało Certyfikowane Laboratorium Analiz Medycznych w dniu pobrania.

Następnie badani zostali poddani ekspozycji hiperbarycznej, odpowiadającej głębokości 30 m. Po zakończonej ekspozycji, wykonano 3 - krotnie osłuchowe badanie metodą Dopplera, aparatem Doppler Bubble Monitor DBM 9008 firmy TSI. Po 24 godzinnej przerwie, procedura badania została powtórzona: 2 godz. po posiłku została pobrana krew w celu przeprowadzenia analiz laboratoryjnych, a następnie badani zostali poddani ekspozycji hiperbarycznej, odpowiadającej głębokości 60 m. Po zakończonej ekspozycji wykonano 3 - krotnie osłuchowe badanie metodą Dopplera.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Ponieważ dane nie posiadały rozkładu normalnego, zastosowano testy nieparametryczne, oparte na korelacjach: test U Manna-Whitneya, korelację rang Spearmana, regresję logistyczną. W analizie przyjęto poziom istotności statystycznej $p < 0,05$.

WYNIKI

W trakcie ekspozycji odpowiadającej głębokości 30 m, u żadnego z badanych nie stwierdzono stresu dekompresyjnego. Analizie poddano wyniki uzyskane podczas ekspozycji odpowiadającej głębokości 60 m, w zależności od ich wpływu na występowanie stresu dekompresyjnego. Na podstawie uzyskanych wyników badania metodą Dopplera, uczestników badania podzielono na dwie grupy: grupa 1 (n=25) - „stres nie wystąpił” - brak pęcherzyków gazu oraz I stopień w skali K-M, grupa 2 (n=30) - „stres wystąpił” - stres dekompresyjny II - IV stopień w skali K-M. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli I.

Consequently, a high-fat diet may constitute an additional risk factor by elevating the quantity of inert gas dissolved in the blood and the probability of occurrence of decompression stress (DCS).

OBJECTIVE OF THE WORK

The purpose of the work was to evaluate the effect of postprandial hypertriglyceridemia on the risk of an occurrence of decompression stress in men following hyperbaric air exposures, performed with the use of Doppler ultrasound examination.

MATERIAL AND METHOD

The study was conducted on 55 men aged between 20 and 48 years (mean age 31.47±5.49 years), with a BMI value within the range of 20.3 - 33.2kg/m² (mean value 25.5±2.58 kg/m²). The participants' blood was drawn for tests 2 hours after a meal (breakfast) prepared in accordance with their nutritional preferences. The following parameters were defined: morphology, aspartate aminotransferase (AST) activity, alanine transaminase (ALT) activity, total cholesterol concentration and triglyceride concentration.

The study was conducted by a certified laboratory for medical analyses on the day of sample collection. Next, the participants were subjected to a hyperbaric exposure corresponding to the depth of 30 m. After exposure completion, three Doppler auscultations were performed with a Doppler Bubble Monitor - DBM 9008, manufactured by the TSI Company. Following a 24-hour break the procedure was repeated: the blood samples were collected for laboratory analyses 2 hours after the meal and then the participants were subjected to a hyperbaric exposure corresponding to the depth of 60 m. On exposure completion three Doppler auscultations were performed.

The obtained results were submitted for a statistical analysis. Due to the fact that the data were not regularly distributed, non-parametric tests were applied: the Mann-Whitney U test, Spearman's rank correlation and logistic regression. The adopted level of statistical significance was $p < 0.05$.

RESULTS

In the course of the exposure correspondent to the depth of 30 m, decompression stress was not observed in any of the subjects. Thus, the analysis was carried out on the results obtained during the exposure corresponding to the depth of 60 m, with regard to their impact on the occurrence of decompression stress. On the basis of the results obtained with the Doppler method, the subjects were divided into two groups: group 1 (n=25) - "stress did not occur" - no observable gas bubbles and graded as the 1st degree on the K-M scale, group 2 (n=30) - "stress occurred" - decompression stress of the 2nd - 4th degree on the K-M scale. The results are presented in Table 1.

Wartości średnie badanych parametrów w grupie 1 (n=25) „stres nie wystąpił” i w grupie 2 (n=30) „stres wystąpił”.

Mean values of the measured parameters in group 1 (n=25) "stress did not occur" and in group 2 (n=30) "stress occurred".

Parameters	Mean±SD Group 1	Mean±SD Group 2	Significance level P
Age (years)	30.48±5.51	32.47±5.48	0.17
BMI [kg/m ²]	24.40±1.99	26.71±3.17	0.0024
Hematocrit [%]	43.92±2.22	44.18±1.44	0.81
Hemoglobin [g/dl]	15.06±0.98	15.30±0.65	0.44
Erythrocytes [T/l]	5.07±0.29	5.00±0.33	0.41
Leucocytes [G/l]	6.65±1.87	6.84±1.98	0.6
AST [U/l]	25.44±5.07	26.63±6.98	0.7
ALT [U/l]	25.44±7.32	38.10±16.09	0.0003
Cholesterol [mg/dl]	176.44±31.83	218.07±35.12	0.00009
Triglycerides [mg/dl]	129.32±69.67	257.80±132.87	0.00004

Przedstawione wyniki (tab. 1) wskazują na istnienie różnic pomiędzy grupą osób u których wystąpił stres dekompresyjny (grupa 2) a osobami, u których nie stwierdzono stresu dekompresyjnego (grupa 1). Istotnie statystycznie ($p < 0,05$) na występowanie stresu wpływają wyższe wartości BMI, ALT, cholesterolu całkowitego, triglicerydów. Pozostałe badane parametry były nie istotne statystycznie.

W celu sprawdzenia, czy istnieje zależność występowania stresu dekompresyjnego od parametrów istotnych statystycznie, wykorzystano regresję logistyczną. Regresja logistyczna jest modelem matematycznym, stosowanym do opisu wpływu kilku zmiennych ilościowych, na zmienną dychotomiczną (stres wystąpił/nie wystąpił). Przeprowadzono analizę korelacji rang Spearmana. Aby wyniki analizy były prawidłowe, unikano zjawiska współliniowości oraz zmiennych silnie ze sobą skorelowanych.

Zastosowanie regresji logistycznej pozwoliło na matematyczne wyliczenie prawdopodobieństwa ryzyka wystąpienia stresu dekompresyjnego, w zależności od wartości parametrów istotnych statystycznie w badanej grupie. Rozpatrywano 2 modele uwzględniające badane parametry:

Model 1. ALT i triglicerydy

Na podstawie wyników regresji logistycznej można stwierdzić, że ALT i triglicerydy istotnie statystycznie ($p < 0,05$) wpływają na wystąpienie stresu dekompresyjnego w badanej grupie nurków.

Wyliczone wartości pozwalają zapisać równanie regresji logistycznej w postaci

$$P(X) = \frac{e^{-8,56+0,18 \times ALT+0,02 \times TRIGLICERYDY}}{1 + e^{-8,56+0,18 \times ALT+0,02 \times TRIGLICERYDY}}$$

Dodatnie współczynniki przy zmiennych wskazują, że wzrost tych wielkości powoduje wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia stresu dekompresyjnego.

W oparciu o iloraz szans dla zmiennej ALT (jednostkowy iloraz szans dla zmiennej ALT wynosi 1,2) można obliczyć, że osoby u których ALT przyjmuje wartość 38,1 U/l (wartość średnia dla osób, u których wystąpił stres) są 10,13 – krotnie bardziej narażone na wystąpienie stresu dekompresyjnego w porównaniu z osobami, których

The presented results (tab. 1) point to differences between the group of persons with decompression stress (group 2) and those in whom the decompression stress was not observed (group 1). Statistical significance ($p < 0.05$) with regard to the occurrence of stress was correlated with elevated values of BMI, ALT, total cholesterol and triglycerides. The remaining parameters were not statistically significant.

For the purpose of checking whether there was a correlation between the occurrence of decompression stress and statistically significant parameters, logistic regression was applied. Logistic regression is a mathematical model used in the description of the impact of several quantitative variables on a dichotomous variable (the fact of stress occurrence/non-occurrence).

Next, Spearman's rank correlation analysis was conducted. In order to ensure accuracy of the analytical results, collinearity and too closely correlated variables were avoided. The application of logistic regression allowed mathematical calculation of the probability of an occurrence of decompression stress depending on the values of statistically significant parameters of an examined group. The following 2 models were investigated, taking into account the measured parameters:

Model 1. ALT and triglycerides

On the basis of the results obtained through logistic regression we may determine that ALT and triglyceride levels are statistically significant ($p < 0.05$) for the occurrence of decompression stress in the tested group of divers.

The calculated values allow to write down the logistic regression equation in the following form:

$$P(X) = \frac{e^{-8,56+0,18 \times ALT+0,02 \times TRIGLYCERIDES}}{1 + e^{-8,56+0,18 \times ALT+0,02 \times TRIGLYCERIDES}}$$

Positive coefficients with the variables indicate that a growth in those values causes an increase in the probability of an occurrence of decompression stress.

Based on the odds ratio for the ALT variable (a unit odds ratio for the ALT variable amounts to 1.2) it is possible to calculate that persons for whom ALT reaches 38.2 U/l (mean value for persons displaying decompression stress symptoms) are 10.13 times more susceptible to decompression stress as compared with persons in whom

ALT wynosił 25,4 U/l (średnia dla osób, u których stres nie wystąpił).

Podobnie, w oparciu o iloraz szans dla zmiennej triglicerydy (jednostkowy iloraz szans wynosi 1,02) można obliczyć, że osoby u których triglicerydy przyjmują wartość 257,8 mg/dl (wartość średnia dla osób, u których wystąpił stres) są 12,73 – krotnie bardziej narażone na wystąpienie stresu dekompresyjnego w porównaniu z osobami, u których triglicerydy wynosiły 129,32 mg/dl (średnia dla osób, u których stres nie wystąpił).

Model 2. ALT – cholesterol

Z przeprowadzonej analizy regresji logistycznej wynika, że zmienne ALT i cholesterol istotnie statystycznie ($p < 0,05$) wpływają na wystąpienie stresu dekompresyjnego w badanej grupie nurków.

Wyliczone wartości pozwalają zapisać równanie regresji logistycznej w postaci:

$$P(X) = \frac{e^{-11,2951 + 0,1280883 \times ALT + 0,03884439 \times CHOLESTEROL}}{1 + e^{-11,2951 + 0,1280883 \times ALT + 0,03884439 \times CHOLESTEROL}}$$

Dodatknie współczynniki przy zmiennych wskazują, że wzrost tych wielkości powoduje wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia stresu dekompresyjnego.

W oparciu o iloraz szans dla zmiennej ALT można obliczyć, że osoby u których ALT przyjmuje wartość 38,1 U/l (wartość średnia dla osób, u których wystąpił stres) są 5 – krotnie bardziej narażone na wystąpienie stresu dekompresyjnego w porównaniu z osobami, których ALT wynosił 25,4 U/l (średnia dla osób, u których stres nie wystąpił).

Podobnie, w oparciu o iloraz szans dla zmiennej cholesterol można obliczyć, że osoby u których cholesterol przyjmuje wartość 218,7 mg/dl (wartość średnia dla osób, u których wystąpił stres) są 5,43 – krotnie bardziej narażone na wystąpienie stresu dekompresyjnego w porównaniu z osobami, u których cholesterol wynosił 176,4 mg/dl (średnia dla osób, u których stres nie wystąpił).

Oba modele regresji logistycznej wskazują na większe prawdopodobieństwo występowania stresu dekompresyjnego u osób, u których aktywność ALT oraz stężenia cholesterolu i triglicerydów są powyżej normy.

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały wpływ parametrów dotychczas nie uwzględnianych, a mających potencjalny wpływ na ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego. Możliwość oznaczania tych parametrów przez każdego zainteresowanego nurkowaniem i świadomość ich wpływu na zagrożenia, może podnieść bezpieczeństwo nurkowania, gdyż wykonywane są standardowo w każdym medycznym laboratorium analitycznym.

W prowadzonych badaniach, szczególną uwagę zwrócono na związek pomiędzy poposiłkowym stężeniem cholesterolu całkowitego i triglicerydów w surowicy krwi a występowaniem stresu dekompresyjnego. Fakt zwiększonej rozpuszczalności azotu we krwi, przy znacznie podwyższonym stężeniu cholesterolu i triglicerydów oraz to, że w związku z tym tłuszcze zawieszane w osoczu krwi (chylomikrony) stanowią swoisty rezerwuuar azotu, może stać się tematem dyskusji i badań nad modyfikacją

the ALT amounted to 25.4 U/l (mean value for subjects without decompression stress).

Based on the odds ratio for the triglyceride variable (a unit odds ratio amounts to 1.02) it is possible to calculate that persons for whom triglycerides reached 257.8 mg/dl (mean value for persons displaying decompression stress symptoms) are 12.73 times more susceptible to decompression stress as compared with persons in whom the triglycerides amounted to 129.32 mg/dl (mean value for subjects without decompression stress).

Model 2. ALT – cholesterol

On the basis of the results obtained through logistic regression analysis we may determine that the levels of the ALT and cholesterol variables are statistically significant ($p < 0.05$) for the occurrence of decompression stress in the tested group of divers.

The calculated values allow to write down the logistic regression equation in the following form:

$$P(X) = \frac{e^{-11,2951 + 0,1280883 \times ALT + 0,03884439 \times CHOLESTEROL}}{1 + e^{-11,2951 + 0,1280883 \times ALT + 0,03884439 \times CHOLESTEROL}}$$

Positive coefficients with the variables indicate that a growth in those values causes an increase in the probability of an occurrence of decompression stress.

Based on the odds ratio for the ALT variable it is possible to calculate that persons for whom ALT reaches 38.1 U/l (mean value for persons displaying decompression stress symptoms) are 5 times more susceptible to decompression stress as compared with persons in whom the ALT amounted to 25.4 U/l (mean value for subjects without decompression stress).

Based on the odds ratio for the cholesterol variable it is possible to calculate that persons for whom cholesterol reached 218.7 mg/dl (mean value for persons displaying decompression stress symptoms) are 5.43 times more susceptible to decompression stress as compared with persons in whom cholesterol reached the level of 176.4 mg/dl (mean value for subjects without decompression stress).

Both of the logistic regression models indicate a greater probability of an occurrence of decompression stress in individuals whose ALT activity, cholesterol and triglyceride concentrations are above the norm.

DISCUSSION

The conducted study has revealed a potential impact of the thus far omitted parameters on the risk of decompression stress occurrence. The possibility to determine those parameters by each person that takes an interest in diving, and the awareness of risks related to their levels, may contribute to increasing the safety of diving, as such tests are performed as a part of a standard procedure in every medical laboratory. In the conducted research particular attention was paid to the relationship between the postprandial total cholesterol and triglyceride concentrations in the blood serum and the occurrence of decompression stress.

The fact of an elevated nitrogen solubility in the blood with considerably increased cholesterol and triglyceride concentrations, as well as that the fats suspended in the blood plasma (chylomicrons) create a sort

istniejących tabel dekompresyjnych i warunków bezpieczeństwa dekompresji [19, 20, 21].

Zależność stężenia cholesterolu całkowitego i triglicerydów w surowicy krwi, od ilości spożytych tłuszczów w diecie, może mieć bezpośredni wpływ na zwiększenie objętości gazów obojętnych, rozpuszczonych w surowicy krwi, podczas ekspozycji hiperbarycznej [20]. Również funkcjonowanie wątroby może wpływać na zaburzenia gospodarki lipidowej. Wzrost aktywności ALT świadczy o uszkodzeniu komórek wątroby, które może wpływać na zaburzenia syntezy cholesterolu i triglicerydów oraz nieprawidłowy metabolizm lipidów [22]. Zwiększonej objętości gazu obojętnego w surowicy krwi najprawdopodobniej towarzyszyć będą również zaburzenia w odsycaniu i opóźnienie transportu przez barierę krew – powietrze [13, 23].

Jak wykazało przeprowadzone badanie, podwyższone stężenie cholesterolu i triglicerydów we krwi, oznaczone 2 godziny po posiłku, istotnie statystycznie zwiększało ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego.

Szczególnie stężenie triglicerydów jest bardzo ważnym parametrem prognostycznym, gdyż jak wynika z równania regresji logistycznej, może zwiększać 12-krotnie ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego. Oprócz tego podwyższone powyżej wartości referencyjnych wartości innych badanych parametrów (ALT, cholesterol) mających istotny wpływ na występowanie stresu dekompresyjnego, wraz z podwyższonym poziomem triglicerydów, tzw. nałożenie się na siebie czynników ryzyka, zwiększają ryzyko wystąpienia i nasilają natężenie stresu.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na duże znaczenie prognostyczne wymienionych powyżej parametrów, w eliminowaniu zagrożeń zdrowotnych u nurków, szczególnie rozpatrywanych wspólnie. Opieranie się tylko na pojedynczym parametrze może powodować błędną interpretację wyników i wyciąganie błędnych wniosków.

W świetle przeprowadzonych badań oraz doniesień w literaturze można wyciągnąć wnioski o zdecydowanie zwiększonym zagrożeniu stresem dekompresyjnym i/lub chorobą ciśnieniową, z powodu hipertriglicerydemii poposiłkowej. Ze względu na szerokie spektrum oddziaływania hipertriglicerydemii na organizm człowieka a w szczególności nurka, jak i różnorodność powodów występowania hipertriglicerydemii należy zwrócić szczególną uwagę na czynniki biologiczne, takie jak obciążenia genetyczne, warunki środowiskowe, aktywność fizyczna oraz dieta.

Sposób odżywiania nurka jest niedocenianym dotychczas czynnikiem ryzyka, choć przeprowadzone badania wskazują na istotny wpływ diety na zagrożenia zdrowotne związane z nurkowaniem [20]. Obecnie zwraca się coraz większą uwagę na wpływ odżywiania w występowaniu zespołu metabolicznego i jego powikłań w populacji ogólnej, jednak bardzo mało jest badań dotyczących osób pracujących w warunkach ekstremalnych. Wynika to z faktu, że osoby pracujące w warunkach ekstremalnych, w tym nurkowie należą do osób zdrowych, o dużej aktywności fizycznej, zazwyczaj o prawidłowej masie ciała. Jednak z powodu braku wytycznych i wskazówek dotyczących sposobu odżywiania, często nieświadomie grupa tych osób popełnia podstawowe błędy żywieniowe. Świadomość zagrożeń, jak i sposobów zwiększenia bezpieczeństwa może wpłynąć korzystnie na zmianę nawyków żywieniowych. Dlatego też należy sformułować wytyczne dotyczące sposobu odżywiania uwzględniając zagrożenia zdrowotne związane

of a nitrogen reservoir, may provide topic for further discussions and studies on the modification of the existing decompression tables and decompression safety conditions [19, 20, 21].

The dependency between total cholesterol and triglyceride concentrations in the blood serum and the quantity of fat intake with one's diet may have a direct impact on increasing the volume of the dissolved inert gases in the blood serum during hyperbaric exposures [20]. Moreover, the functioning of the liver may have an influence on the disturbance of lipid metabolism. A growth in ALT activity is an exponent of liver cell damage, which may affect the process of cholesterol and triglyceride synthesis and result in irregular lipid metabolism [22]. The increased volume of inert gas in the blood serum will most likely be accompanied with disturbances in desaturation and delays in the transportation through the blood – air barrier [13, 23].

As it was shown by the conducted tests, an increased concentration of cholesterol and triglycerides in the blood measured 2 hours after a meal had a statistically significant impact on the risk of occurrence of decompression stress. The triglyceride concentration proved to be a particularly important prognostic parameter, since, as it follows from the presented logistic regression equation, it may increase the risk of an occurrence of decompression stress even by 12 times. Besides this, other parametric values increased above reference levels (ALT, cholesterol), having a significant impact on the occurrence of decompression stress, combined with elevated triglyceride levels, the so-called concurrence of various risk factors, increase the risk of an occurrence and intensify the stress level.

An analysis of the obtained results points to a large prognostic meaning of the above-mentioned parameters in the elimination of health hazards in divers, especially when considered collectively. Focusing on a single parameter may result in erroneous result interpretation and formulation of the wrong conclusions.

In the light of the conducted research and the data provided by the available literature it is possible to note a much larger risk of decompression stress and/or decompression sickness due to postprandial hypertriglyceridemia. With regard to the broad spectrum of hypertriglyceridemia's effects on a human organism, and in particular on divers, as well as to the diversity of reasons for its occurrence, proper attention should be paid to such biological factors as genetic burden, environmental conditions, physical activity and diet. Diver's diet is the thus far highly underestimated risk factor, although the conducted experiment indicates its significant impact on diving-related health hazards [20].

At present, ever increasing attention is paid to the influence of a diet on the occurrence of metabolic syndrome and the related complications in the general population; however, the research concerned with persons working in extreme conditions is still in short supply. This results from the fact that people working in extreme conditions, including divers, are healthy persons of a high physical activity and commonly characterised by normal body weight. However, due to the lack of guidelines pertaining to healthy diet, such people often unknowingly make basic mistakes in this area. The awareness of threats as well as the means to increase safety may have a favourable effect on one's modification of nutritional habits. Hence, it is necessary to formulate recommendations concerned with the diet with consideration of diving-related health hazards.

z nurkowaniem.

WNIOSKI

1) Znajomość wartości cholesterol, triglicerydy, ALT pozwala na matematyczne prognozowanie ryzyka wystąpienia stresu dekompresyjnego u mężczyzn w wieku 20 – 48 lat po wielokrotnych, głębokich nurkowaniach powietrznych.

2) Hipertriglicerydemia i hipercholesterolemia poposiłkowa zwiększa ryzyko wystąpienia stresu dekompresyjnego po powietrznych ekspozycjach hiperbarycznych.

3) Stała edukacja żywieniowa i opracowanie wytycznych żywieniowych dla osób nurkujących może zdecydowanie zmniejszyć ryzyko występowania stresu dekompresyjnego.

Praca w zakresie oprogramowania wykorzystywanego do wykonania analizy statystycznej danych wykonana za pomocą oprogramowania „StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10” zakupionego z projektu „TeleMedNet – medyczna platforma naukowo-diagnostyczna”.

CONCLUSIONS

1) Knowledge of the cholesterol, triglyceride and ALT values allows mathematic prognostication of the risk of occurrence of decompression stress in men aged between 20 – 48 years following multiple deep air dives.

2) Postprandial hypertriglyceridemia and hypercholesterolemia were proved to raise the risk of an occurrence of decompression stress after hyperbaric air exposures.

3) A constant nutritional education and preparation of proper guidelines regarding the diver's diet may have a considerable impact on decreasing the risk of an occurrence of decompression stress.

The work was carried out with the use of data analysis software "StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA, version 10" purchased from the project entitled "TeleMedNet - medical scientific-diagnostic platform."

BIBLIOGRAPHY

- Doboszyński T., The impact of the physical environment of the gas in hyperbaric dives in *Fundamentals of Dives Pathophysiology* ed. Ulewicz K. 1971: 54-71;
- Edmonds C., Lowry Ch., Pennefather J., *Physics w Diving and subaquatic medicine* 1995: 11-23;
- Bosco G., Yang Z.J., Di Tano G., et al., Effect of in-water oxygen prebreathing at different depths on decompression-induced bubble formation and platelet activation, *J Appl Physiol* 2010; 108 (5): 1077-1083; doi: 10.1152/jappphysiol.01058.2009;
- Ciborowski M.F., Ruperez J., Martinez-Alcazar M.P. et al., Metabolic Approach with LC-MS Reveals Significant Effect of Pressure on Diver's Plasma, *Journal of Proteome Research* 2010; 9 (8): 4131-4137; doi: 10.1021/pr100331j;
- Fothergill D.M., Gertner J., Schwaller D., Keller M., McCluskey J., Can exhaled Nitric Oxide (NO) measurements provide a non-invasive measure of decompression stress in humans?, *Undersea Hyperb. Med.* 2010 Sep-Oct; 37 (5) – 2010 Abstracts A4: 293;
- Gault K.A., Tikuisis P., Nishi R.Y., Calibration of a bubble evolution model to observed bubble incidence in divers, *Undersea Hyperb. Med.* 1995; 22 (3): 249-262;
- Hooker S.K., Fahman A., Moore M.J., et al., Deadly diving? Physiological and behavioural management of decompression stress in diving mammals, *Proc Biol Sci.* 2012; 22, 279 (1731): 1041-1050; doi: 10.1098/rspb.2011.2088;
- Olszański R., Radziwon P., Piszcz J. et al., Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives, *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2010; 81 (6): 585-588;
- Olszański R., Radziwon P., Siermontowski P. et al., Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis activation, *Advances in Medical Sciences* 2010; 55 (2): 313-316; doi: 10.2478/v10039-010-0050-3;
- Pickles D.M., Ogston D., MacDonald A.G., Effects of gas bubbling and other forms of convection on platelets in vitro, *J.Appl.Physiol.* 1989; 67 (3): 1250-1255;
- Pontier J.M., Gempp E., Ignatescu M., Blood platelet-derived microparticles release and bubble formation after an open-sea air dive, *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012; 10.1139/h.2012-2067; doi: 10.1139/h2012-067;
- Thom S.R., Yang M., Milovanova T.N., Decompression-induced vascular injuries are caused by micro-particles, *Undersea Hyperb. Med.* 2010 Sep-Oct; 37 (5) – 2010 Abstracts A5: 293;
- Tikuisis P., Gault K., Carrod G., Maximum likelihood analysis of bubble incidence for mixed gas diving, *Undersea Biomed Res* 1990; 17 (2): 159-169;
- Blatteau JE, Gempp E, Constantin P. et al. Risk factors and clinical outcome in military divers with neurological decompression sickness: influence of time to recompression. *Diving Hyperb Med.* 2011; 41(3): 129-34;
- Philp RB, Gowdey CW. Experimental analysis of the relation between body fat and susceptibility to decompression sickness, *Aerosp. Med.* 1964; Apr;35: 351-356;
- Goldberg A.P., Busby-Whitehead J., Katzel L.I., Krauss R.M., Lumpkin M., Hagberg J.M., Cardiovascular fitness, body composition and lipoprotein lipid metabolism in older men, *J of Gerontology* 2000; 55A (6): 342-349;
- Karpe F., Steiner G., Olivecrona T., Carlson L.A., Hamsten A., Metabolism of triglyceride-rich lipoproteins during alimentary lipemia, *J Clin Invest* 1993;91: 748-758;
- Meksawan K., Pendergast D.R., Leddy J.J., Mason M., Horvath P.J., Awad A.B., Effect of low and high fat diets on nutrient intakes and selected cardiovascular risk factors in sedentary men and women, *J of Am College of Nutr* 2004; 23 (2): 131-140;
- Cockett A.T.K., Pauley S.M., Saunders J.C., Hirose F.M., Co-existence of lipid and gas emboli in experimental decompression sickness, *NASA Technical Reports Server* 1968;
- Kaczerska D., Siermontowski P., Olszański R., Krefft K., Małgorzewicz S., Van Damme-Ostapowicz K., The influence of high-fat diets on the occurrence of decompression stress after air dives, *Undersea Hyperb. Med.* 2013; 40 (6): 487-497
- Pauley S.M., Cockett A.T.K., Role of lipids in decompression sickness, *Aerospace Med* 1970; 41 (1): 56-60;
- Brunzeli J.D., Hazzard W.R., Porte D., Bierman E.L., Evidence for a common, saturable, triglyceride removal mechanism for chylomicrons and very low density lipoproteins in man, *J Clin Invest* 1973; 52: 1578-1585;
- Butler B.D., Conkin J., Luehr S., Pulmonary hemodynamics, extravascular lung water and residual gas bubbles following low dose venous gas embolism in dogs, *Aviat Space Environ Med.* 1989 Dec; 60 (12):1178-1182.

Целью исследования было определить влияние гипертриглицеридемии после еды на риск декомпрессионного стресса после воздушной гипербарической экспозиции. В исследование были заквалифицированы 55 мужчин в возрасте 20 - 48 лет ($31,47 \pm 5,49$ лет), ИМТ в диапазоне 20,3 - 33,2 кг/м² ($25,5 \pm 2,58$ кг/м²). Участникам 2 часа после еды, в соответствии с диетическими предпочтениями каждого человека, были взяты образцы крови для тестирования, чтобы определить следующие параметры: морфология, аспаратаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), общий холестерин и триглицериды.

После каждой гипербарической экспозиции методом Доплера оценивалась частота и тяжесть декомпрессионного стресса. Декомпрессионный стресс наблюдалось у 30 пациентов. Гипертриглицеридемия и гиперхолестеринемия после еды увеличивает риск возникновения декомпрессионного стресса после воздушной гипербарической экспозиции. Применение логистической регрессии позволяет математическому прогнозированию риска декомпрессионного стресса после воздушной гипербарической экспозиции.

Ключевые слова: декомпрессионный стресс, гипертриглицеридемия, водолаз.

dr inż. Dorota Kaczerska
Katedra Żywienia Klinicznego
Gdański Uniwersytet Medyczny
ul. Dębinki 7, 80-211 Gdańsk
dorotakaczerska@tlen.pl

THE PATHOPHYSIOLOGY RELATED TO THE TOXIC EFFECT OF OXYGEN. THE HAZARD OF CENTRAL OXYGEN TOXICITY PART 2

ΠΑΤΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟКСΥCΗΝΟΥ ΟΔΔΙΑΛΥΜΑΝΙΑ ΤΛΕΝΟΥ. ΖΑΓΡΟΖΕΝΕ ΤΛΕΝΟΥΑ ΤΟКСΥCΗΝΟCΙΑ ΟCΡΟΔΚΟΥΑ CΖ. 2

Πατοφυσιολογία τοξικού δράστυβια κισλорода. Опасность токсичности кислорода для ЦНС. часть 2

Ryszard Kłos

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

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The pathophysiology related to the toxic effect of oxygen is understood as an area dealing with an investigation of changes and disturbances in the functioning of cells, organs and body systems as a result of hyperbaric oxygen exposures.

Key words: oxygen toxicity, central nervous system oxygen toxicity, pulmonary oxygen toxicity, oxygen somatic toxicity, toxic effect of oxygen.

Patofizjologia toksycznego oddziaływania tlenu rozumiana jest tutaj, jako dziedzina zajmująca się badaniem zmian i zaburzeń w pracy komórek, narządów i układów organizmu będących wynikiem tlenowych ekspozycji hiperbarycznych.

Słowa kluczowe: toksyczność tlenowa, ośrodkowa toksyczność tlenowa, tlenowa toksyczność płucna, tlenowa toksyczność somatyczna, ogólnie trujące działanie tlenu.

Патофизиология токсического действия кислорода понимается здесь как область, посвященная изучению изменений и нарушений в работе клеток, органов и систем организма в результате экспозиции гипербарической оксигенации.

Ключевые слова: Токсичность кислорода, токсичность кислорода для ЦНС, кислородная интоксикация легких, соматическая кислородная интоксикация, общие токсическое воздействие кислорода.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 15 - 34

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.2

Pages: 20, figures: 2, tables: 8.

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

Typ artykułu: przeglądowy

Review article

Termin nadesłania: 01.03.2014 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.04.2014 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

TOKSYCZNOŚĆ OŚRODKOWA

Tlen jest konieczny do podtrzymania homeostazy¹ organizmu ludzkiego, lecz w warunkach hiperbarycznych wykazuje toksyczność w stosunku do ośrodkowego układu nerwowego i tkanki płucnej, działanie ogólnie trujące w stosunku do tkanek oraz inne, niepożądane efekty.

CENTRAL NERVOUS SYSTEM OXYGEN TOXICITY

Oxygen is indispensable in the maintenance of homeostasis¹ in a human organism; however, under hyperbaric conditions it manifests toxicity in relation to the central nervous system and pulmonary tissues, a highly toxic effect on tissues as well as other adverse effect

Tab. 1

Dozwolone ciśnienia cząstkowe i czasy ekspozycji tlenowych wg przepisów obowiązujących w MW RP.

Allowable oxygen partial pressures and times of oxygen exposures according to the regulations of the Polish Navy.

Maximum oxygen partial pressure [MPa]	Allowable exposure time [min]
0.130	240
0.145	150
0.160	110
0.175	75
0.190	45
0.205	25
0.220	10

W MW RP funkcjonowały do niedawna przepisy² ustalające czasy pobytu i maksymalne ciśnienia cząstkowe tlenu podczas nurkowania [1,2]. Odpowiadały one przepisom **USNavy** obowiązującym w latach sześćdziesiątych – tab. 1 [3]. Wydany w 1981 roku przez Ministerstwo Obrony Narodowej podręcznik rozgranicza już ekspozycje na rutynowe i wyjątkowe, gdzie granica pomiędzy nimi przebiega przy ciśnieniu **0.175MPa** [4]. Obecnie przy nurkowaniach z wykorzystaniem aparatów nurkowych o zamkniętym obiegu tlenu, jako czynnika oddechowego MW RP przyjmuje zalecenia **USNavy** [5].

Według niektórych źródeł nie obserwuje się w ostatnich latach istotnego postępu wiedzy w zakresie tlenowej toksyczności ośrodkowej **CNSyn** [6]. Nadal wielu badaczy odwołuje się do klasycznych badań wykonanych podczas II Wojny Światowej przez *Kenetha Donalda*, które uzupełnione o nowsze osiągnięcia zostały opublikowane zbiorczo stosunkowo niedawno [7]. Najczęściej używane scenariusze bojowych ekspozycji tlenowych opracowano w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku [8,9,10].

Zjawisko tlenowej toksyczności ośrodkowej **CNSyn** jest trudne do badania ze względu na skomplikowane interakcje z wieloma czynnikami, do których należy zaliczyć wiek, płeć, indywidualne predyspozycje czy aktualny stan psychofizyczny [7,11].

Toksyczność ta jest zjawiskiem dotyczącym wielu organów ważnych do zachowania homeostazy. Do wyjaśnienia zjawisk toksyczności tlenowej często wykorzystuje się teorię biochemiczną przyjmując niekorzystne oddziaływanie powstających wolnych

Until quite recently the Polish Navy acted accordingly to the effective regulations² regarding stay times and maximum oxygen partial pressures in the course of diving [1,2]. They corresponded to the regulations determined by the **USNavy** for the 1960s – tab. 1 [3]. The manual published in 1981 by the Polish Ministry of National Defence already provided a distinction between routine and extraordinary exposures, with the specified threshold at the pressure value of **0.175MPa** [4]. Currently, for dives performed with the use of close-circuit rebreathers with oxygen as a breathing mix, the Polish Navy applies the recommendations of the **USNavy** [5].

According to some sources, there has been no significant progress in the knowledge regarding central nervous system oxygen toxicity **CNSyn** [6]. Many researchers still refer to classical tests performed during World War Two by Kenneth Donald, which have recently been complemented with newer achievements and collectively published [7]. The most common scenarios of combat oxygen exposures were described in the 1980s [8,9,10].

The phenomenon of central nervous syndrome **CNSyn** is difficult to investigate due to complicated interactions with numerous factors, including age, sex, individual predispositions or current psychophysical condition [7,11]. Toxicity is a phenomenon affecting numerous organs that play an important role in the preservation of homeostasis.

The explanation of the phenomena related to oxygen toxicity is often conducted on the basis of

rodników⁴ i innych metabolitów manifestują ce się wystąpieniem objawów **CNSyn** [12,13].

Podczas ekspozycji tlenowych zaobserwowano we krwi ludzkiej nadtlenek wodoru **H₂O₂** i zbadano jego wpływ na różne rejony mózgu [6]. Postulowany jest wpływ ekspozycji tlenowych na różnego rodzaju neuroreceptory⁵, przykładowo na receptory **GABA**⁶. Oraz wpływ powstających wyżej utlenionych form metabolicznych na ważne dla organizmu ludzkiego enzymy⁷, przykładowo acetylocholinę⁸ [6].

Wśród metod obniżania zagrożenia **CNSyn** wymienia się wprowadzanie przerw powietrznych, które można zastosować przy dekompresji tlenowej czy leczeniu hiperbarycznym **HBOT**⁹ [14].

Zaobserwowano, że podczas ekspozycji tlenowych początkowo następuje zwężenie mózgowych naczyń krwionośnych powodujące zmniejszenie przepływu krwi przez korę mózgową¹⁰ a następnie ich rozszerzenie. Czas wystąpienia tej realaksacji wydaje się być progiem **CNSyn**, po przekroczeniu którego następuje rozwijanie się symptomów **CNSyn** aż do ataku konwulsji¹¹.

Substancje zmniejszające przepływ krwi przez korę mózgową mogą hamować rozwijanie się objawów **CNSyn**¹² [6].

MECHANIZM CNSYN

Zjawisko **CNSyn** zostanie tutaj pokrótce przedstawione na przykładzie ogólnej, biochemicznej teorii zatrucia tlenowego.

Przemiany biochemiczne wykorzystujące tlen, są źródłem energii dla wyższych form życia na Ziemi. Energia potrzebna do życia otrzymywana jest w reakcjach utleniania zachodzących w komórkach. Energia wiązań, uwalniana podczas reakcji utleniania węglowodanów, białek i tłuszczów jest magazynowana porcjami w wiązaniach fosforowych **GTP** i **ATP**¹³ [15]. Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat otrzymywania w komórce **GTP** i **ATP**. Główną część **ATP** otrzymuje się z cyklu łańcucha oddechowego¹⁴.

W łańcuchu oddechowym przebiegają reakcje spalania wodoru transportowanego przez takie enzymy, jak dwunukleotyd nikotynoamino-adeninowy **NAD** z cyklu Krebsa. Tlen, do łańcucha oddechowego, dostarczany jest poprzez przenoszące go cytochromy¹⁵. Zawierają one atom żelaza, zdolny do wiązania i oddawania tlenu. Zachodzi wówczas zmiana wartościowości żelaza i cytochromy przechodzą z formy utlenionej w formę zredukowaną i na odwrót. W reakcji tlenu z **NADH₂** powstaje woda i uwalnia się energia reakcji, która jest magazynowana w wiązaniach fosforanowych **ATP**. Jest to podstawowa droga produkcji **ATP** zachodząca w mitochondriach¹⁶ komórkowych [16].

biochemical theory with the assumption of the adverse impact of free radicals⁴ and other metabolites manifesting themselves as a result of occurrence of **CNSyn** symptoms [12,13].

During oxygen exposures hydrogen peroxide **H₂O₂** was observed in human blood and its impact on various regions of the brain were investigated [6]. It is postulated that oxygen exposures have an effect on various types of neuroreceptors⁵, for instance **GABA**⁶ receptors, whereas the produced highly oxidised metabolic forms have a significant impact on the important enzymes of a human organism⁷, for instance acetylcholine⁸ [6].

Among the methods used in **CNSyn** hazard reduction one may find the implementation of air breaks during oxygen decompression or hyperbaric treatment **HBOT**⁹ [14].

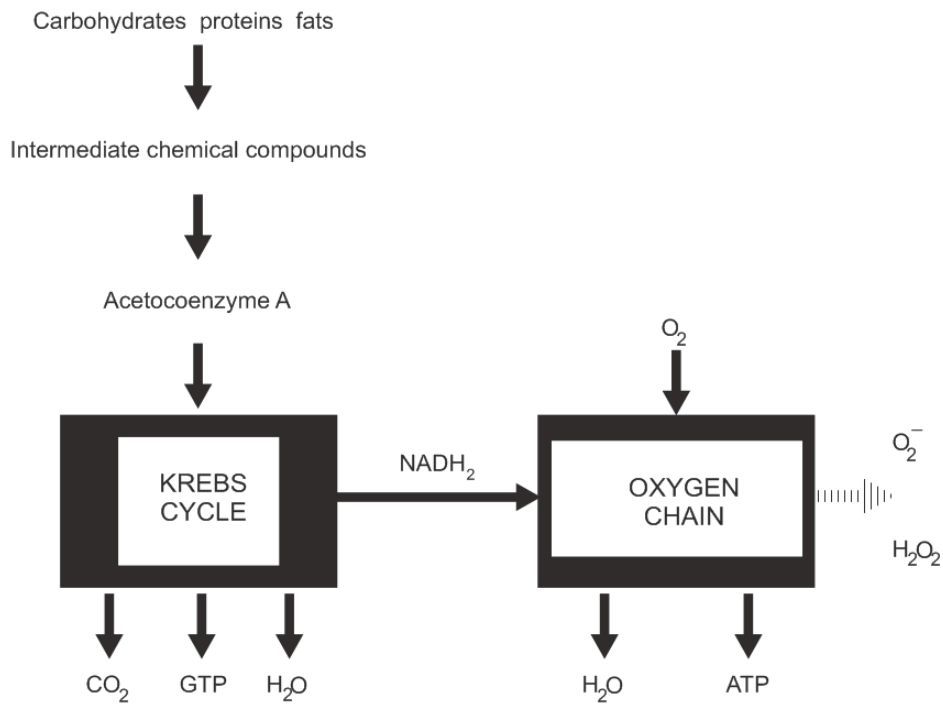
It was observed that during oxygen exposures there is an initial constriction of brain blood vessels causing a decrease in the blood flow through the cerebral cortex¹⁰, followed by their dilation. The time of occurrence of such a relaxation seems to constitute the **CNSyn** threshold, which when exceeded causes the development of **CNSyn** symptoms leading up to an attack of convulsions¹¹. The substances reducing the blood flow through the cerebral cortex may inhibit the development of **CNSyn** symptoms¹² [6].

CNSYN MECHANISM

The phenomenon of **CNSyn** shall be presented briefly on an example of a general biochemical theory concerned with oxygen toxicity.

Biochemical changes based on the use of oxygen constitute the source of energy for higher forms of life existing on Earth. The energy required to live is obtained through oxidation reactions occurring in cells. The energy of bonds released during the reaction of oxidation of carbohydrates, proteins and fats is stored in portions in phosphorous bonds **GTP** and **ATP**¹³ [15]. Fig. 1 presents a simplified scheme related to **GTP** and **ATP** generation in a cell. The main part of **ATP** is received from the respiratory chain cycle¹⁴. In the respiratory chain combustion reactions of the hydrogen transported by such enzymes as nicotinamide-adenine dinucleotide **NAD** from the **Krebscycle**.

The oxygen is supplied to the respiratory chain with **chromes**¹⁵. They contain an iron atom capable of binding and returning oxygen. This is accompanied with a change in the iron valence and cytochromes' transformation from an oxidised to a reduced form and vice versa. In the reaction of oxygen with **NADH₂** water is produced and the reaction energy stored in phosphorous bonds **ATP** is released. This constitutes the primary pathway of **ATP** production, taking place in the cell¹⁶ mitochondria [16].



Rys. 1. Ogólny schemat produkcji **ATP** i **GTP**.

Fig. 1. General scheme of **ATP** and **GTP** production.

Tab. 2

Symptomy i objawy zatrucia tlenowego [17].

Oxygen toxicity symptoms [17].

Hazard degree	Symptoms	Number of cases of
↓	Nausea	75
	agitation, breathlessness, sleeplessness, depression	12
	Headache	5
	numbness, burning sensation	13
	Dizziness	63
	Cramps	335
	hearing impairment	7
	visual impairment	17
	loss of consciousness, speech disorder	16
	Convulsions	91
		Total

W przypadku, gdy prężność tlenu w tkankach jest duża może on wchodzić do łańcucha oddechowego w dużych ilościach. Wtedy reakcje biochemiczne prowadzą do powstawania także wolnych rodników, oraz nadtlenu wodoru – H_2O_2 .

Odpowiedzialne za to są enzymy 17. oksydoredukcyjne przyspieszające reakcje **redox**. Powstające wolne rodniki oraz H_2O_2 są potencjalnie toksyczne dla komórki¹⁸, lecz w normalnych warunkach

In the case when oxygen pressure in tissues is large, it may enter the respiratory chain in large quantities. At that point biochemical reactions also lead to the emergence of free radicals and hydrogen peroxide H_2O_2 . The responsible enzymes are the oxido – reductiveenzymes accelerating **redox** reactions 17. The produced free radicals and H_2O_2 are potentially toxic for the the cell¹⁸; however, under normal conditions they should be deactivated¹⁹ [13,18]. In the situation of

powinny być one dezaktywowane¹⁹ [13,18]. Przy znacznym wzroście prężności tlenu, produkcja toksycznych związków ulega zwiększeniu i biochemiczny system zabezpieczający nie jest w stanie ich wszystkich dezaktywować, co powoduje biochemiczne i fizjologiczne zmiany w funkcjonowaniu organizmu. Ujawniają się one, jako symptomy **CNSyn**²⁰.

Nigdy nie obserwowano, aby objawy te występowały natychmiast po wystawieniu organizmu na działanie tlenu²¹. Podczas zatrucia obserwowano specyficzne symptomy **CNSyn** poprzedzające atak drgawek, takie jak: niepokój, bladeść twarzy, drżenie warg i powiek, mdłości, skurcze, oszołomienie, brak koordynacji, halucynacje wzrokowe i słuchowe, zawężenie pola widzenia²² czy zaburzenia mowy – tab. 2. Symptomy te stosunkowo rzadko są zauważalne przed wystąpieniem drgawek²³ [19,20].

Początek uogólnionych drgawek jest nagły. Atak zaczyna się od fazy tonicznej trwającej zazwyczaj 30 s, podczas której nurek traci przytomność i ustaje czynność oddechowa. Następnie występuje faza kloniczna z nieskoordynowanymi ruchami całego ciała. Cały atak trwa najczęściej ok. 2 min. Po dłuższym oddychaniu tlenem w komorze hiperbarycznej, gdzie jest możliwe zastąpienie tlenu powietrzem, można bez szkody dla zatrutego dopuścić, aby okres bezdechu trwał do ok. 5-8 min²⁴ [14].

Wrażliwość na objawy **CNSyn** podnoszą czynniki zwiększające mózgowy przepływ krwi, należą do nich: zanurzenie, wychłodzenie, obciążenie pracą, zwiększenie koncentracji **CO₂** itp. [21]. Dytlenek węgla **CO₂** może być obecny we wdychanym czynniku oddechowym lub pochodzić z tzw. przestrzeni martwych²⁵. Poprzez receptory stężenia **CO₂** organizm zwiększa intensywność wentylacji. Zwiększenie intensywności wentylacji towarzyszy także zwiększeniu gęstości wdychanego czynnika oddechowego, zwiększeniu oporów oddecho-wych itp. W normobarii, powstający nadmiarowy **CO₂** mógłby być efektywniej wydalany niż w warunkach hiperbarycznych.

Z reguły, pod zwiększonym ciśnieniem dochodzi do kumulacji **CO₂** w organizmie. Początkowa hiperwentylacja prowadzi do hipokapni²⁶ powodującej obserwowany podczas ekspozycji tlenowych spadek akcji oddechowej. Mechanizm obronny powodujący zwężenie naczyń krwionośnych mózgu prowadzi do zwiększania stężenia **CO₂** w naczyniach mózgowych w stosunku do naczyń obwodowych. Stąd receptory **CO₂** nie mogą w początkowej fazie zwiększyć wentylacji.

Ten mechanizm obronny ma jednak swe wady, gdyż zwiększona koncentracja **CO₂** w naczyniach mózgowych zwiększa stężenie jonów hydroniowych **H₃O⁺**, przez co hemoglobina krwi traci szybciej tlen zwiększając jego prężność w osoczu²⁷. Dzięki temu tkanka mózgowa wystawiona jest na większe prężności tlenu **π_{O₂}**. Wydaje się jednak, że organizm stara się skompensować te efekty enzymami dezaktywującymi powstające wolne rodniki.

Podczas wykonywania pracy emisja **CO₂** z tkanek do krwi obwodowej może spowodować:

a significant increase in the oxygen pressure, the rate of generation of toxic compounds is increased and the biochemical protective system is not capable of deactivating all of them, which results in certain biochemical and physiological changes in the functioning of an organism.

They manifest themselves in the form of **CNSyn** symptoms²⁰. Such symptoms have never been observed to occur immediately following an organism's exposure to the activity of oxygen²¹. The state of toxicity is known to present the **CNSyn**-specific symptoms preceding an attack of convulsions, such as: anxiety, paleness in the face, trembling of the lips and eyelids, nausea, cramping, dizziness, lack of coordination, visual and auditory hallucinations, reduced vision²² or speech impairment tab. 2. The above symptoms are rarely noticeable before the occurrence of convulsions²³ [19,20].

An onset of a generalised seizure is sudden. The attack begins with a tonic phase commonly lasting 30 s, during which a diver experiences a loss of consciousness and respiratory arrest. It is then followed by a clonic phase consisting in uncoordinated movements of the entire body. The attack usually lasts approximately **2min**. After a longer period of breathing with oxygen in a hyperbaric chamber where it is possible to replace oxygen with air, it is allowable that the period of apnea in the affected person lasts up to **5 – 8min**²⁴ [14]. The sensitivity to **CNSyn** symptoms is raised by factors inducing an increased cerebral blood flow, including: immersion, undercooling, workload, an elevated level of Carbon dioxide **CO₂** concentration, etc. [21]. **CO₂** may be present in the exhaled breathing mix or come from the so-called dead spaces²⁵. Through the **CO₂** concentration receptors an organism increases the intensity of ventilation.

An increased intensity of ventilation is also accompanied by an increased density in the inhaled breathing mix, breathing resistance, etc. In normobaric conditions the occurring **CO₂** excess could be more efficiently evacuated as compared with hyperbaric conditions. Usually, an elevated pressure leads to an accumulation of **CO₂** in an organism. Initial hyperventilation leads to hypocapnia²⁶ causing an observable reduction in the respiratory activity during oxygen exposures.

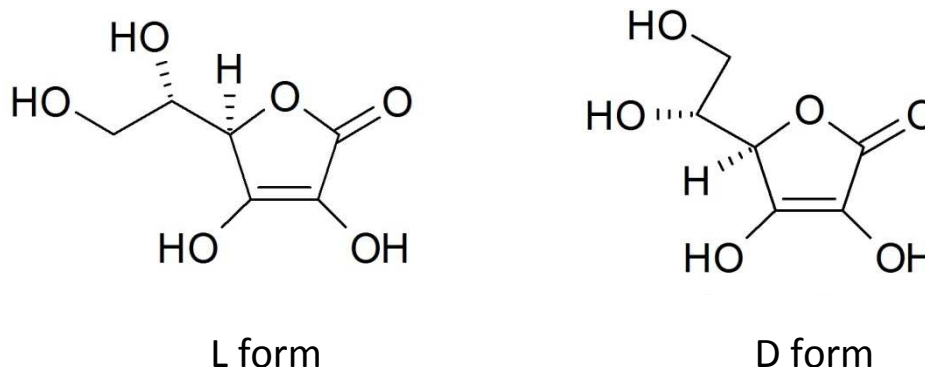
The defence mechanism causing constriction of the blood vessels of the brain leads to increasing **CO₂** concentrations in cerebral vessels in relation to peripheral vessels. Hence, the **CO₂** receptors are incapable of increasing ventilation in the initial phase. However, such a defence mechanism has its flaws, as an increased **CO₂** concentration in cerebral vessels leads to a raised concentration of hydronium ions **H₃O⁺**, due to which the haemoglobin loses oxygen more quickly, thus increasing its pressure in the plasma²⁷. Thanks to this, cerebral tissue is exposed to greater pressures of oxygen **π_{O₂}**. It seems, however, that an organism makes attempts to compensate such effects with enzymes deactivating the emerged free radicals.

zwiększenie wentylacji, zwężanie naczyń krwionośnych na obwodzie podnosząc ciśnienie krwi oraz rozszerzanie mózgowych naczyń krwionośnych. Może to podnieść mózgowy przepływ krwi powodując potencjalnie zwiększenie strumienia O_2 przepływającego przez mózg.

ANTYOKSYDANTY

Jak już wspomniano przy podwyższeniu prężności tlenu π_{O_2} w tkankach może on wchodzić do łańcucha oddechowego w zwiększonej ilości powodując powstawanie wolnych rodników i ponadtlenków. Przyjmuje się, że w normalnych warunkach są one dezaktywowane przez antyoksydanty.

Efektywnym przeciwutleniaczem jest melatonina²⁸, której działanie było szeroko opisywane. Jednak aktywność melatoniny jest rozłożona w czasie i nie



Rys. 2. Izomery optyczne kwasu askorbinowego.

Fig. 2. Optical isomers of ascorbic acid.

powoduje przesunięcia granicy wystąpienia objawów **CNSyn** [22]. Dodatkowo przyjmowanie melatoniny powoduje senność, stąd jej stosowanie ogranicza się jedynie do czasu przewidzianego na odpoczynek. Ocena skuteczności antyoksydantów zależy od zastosowanej metody badań. Przykładowo, badania przeprowadzone na zdrowych mężczyznach ekspozowanych na tlen hiperbaryczny, których dietę wzbogacono w witaminę C i E nie potwierdziły istotnych zdolności antyoksydacyjnych tych witamin [23]. Wcześniej badania prowadzone na myszach zakażonych malarią²⁹ pokazały istotną aktywność antyoksydacyjną kwasu *izoaskorbinowego*³⁰ będącego izomerem *L-kwasu askorbinowego*³¹ [24] – rys. 2. Różnica pomiędzy skutecznością izomerów optycznych³² kwasu askorbinowego była zbadana i okazała się istotna, lecz nie była brana pod uwagę w nowszych badaniach [23].

EKSPOZYCJE TLENE

Przyjmuje się, że O_2 nie wykazuje toksycznego działania na ośrodkowy układ nerwowy, gdy jego ciśnienie parcjalne P_{O_2} jest równe lub mniejsze od

In the performance of work the emission of CO_2 from tissues into the peripheral blood may cause: an increased ventilation, vasoconstriction at the periphery thus elevating the blood pressure and dilating cerebral blood vessels. This may increase cerebral blood flow resulting in a potential increase in the O_2 stream flowing through the brain.

ANTIOXIDANTS

As already mentioned, a rise in the pressure of oxygen π_{O_2} in tissues may involve its increased presence in the respiratory chain, resulting in the production of free radicals and superoxides. It is assumed that in normal conditions they are deactivated by antioxidants.

An effective antioxidant is melatonin²⁸, the effect of which has been widely discussed. Nonetheless, the activity of melatonin is distributed over time and

does not cause shifting of the threshold regarding the occurrence of **CNSyn** symptoms [22]. Additional intake of melatonin causes drowsiness, hence its use is limited only for the planned time of rest.

The evaluation of efficiency of antioxidants depends on the applied research method. For example, studies conducted on healthy men exposed to hyperbaric oxygen, whose diet was enriched with vitamins **C** and **E** failed to confirm any significant antioxidant capabilities of those vitamins [23]. The previous research conducted on mice infected with malaria²⁹ indicated a significant antioxidant activity of isoascorbic acid³⁰ being an isomer *L* of ascorbic acid³¹ [24] - fig. 2. The difference between the effectiveness of optical isomers³² of ascorbic acid was examined and proved to be significant; however, it was not considered in more recent studies [23].

OXYGEN EXPOSURES

It is assumed that O_2 exhibits no toxic effect on the central nervous system with its partial pressure P_{O_2} equal to or lower than

Tab. 3

Dozwolone ciśnienia cząstkowe i czasy ekspozycji tlenowych akceptowane przez **USNavy** we wczesnych latach dziewięćdziesiątych [25].
 Allowable oxygen partial pressure values and oxygen exposure times as approved by **USNavy** in early 1990s [25].

Oxygen partial pressure [MPa]	Standard exposures [min]	Extraordinary exposures [min]
0.10	240	*
0.11	120	*
0.12	80	*
0.13	60	240
0.14	50	180
0.15	40	120
0.16	30	100
0.17	**	80
0.18	**	60
0.19	**	40
0.20	**	30

*-times limited only due to L.Smith effect
 **-exposures prohibited during standard dives

$P_{O_2} \leq 0.1MPa$ ³³ [26]. Podczas nurkowań bojowych, ciśnienia cząstkowe tlenu P_{O_2} często wykraczają poza tę granicę³⁴.

$P_{O_2} \leq 0.1MPa$ ³³ [26]. During combat dives, oxygen partial pressures P_{O_2} often exceed the presented limit³⁴.

Tab. 4

Dozwolone czasy ekspozycji i ciśnienia cząstkowe tlenu w **Nx** akceptowane przez **NOAA** [27].
 Allowable exposure times and oxygen partial pressures in **Nx** as approved by **NOAA** [27].

Oxygen partial pressure [MPa]	Standard exposures		Maximum exposure time for the period of 24hours	
	Allowable exposure time [min]	Allowable exposure time [hour]	[min]	[hour]
0.16	45	0.75	150	2.5
0.15	120	2.0	180	3.0
0.14	150	2.5	180	3.0
0.13	180	3.0	210	3.5
0.12	210	3.5	240	4.0
0.11	240	4.0	270	4.5
0.10	300	5.0	300	5.0
0.09	360	6.0	360	6.0
0.08	450	7.5	450	7.5
0.07	570	9.5	570	9.5
0.06	720	12.0	720	12.0
Extraordinary exposures				
0.20	30	0.50		
0.19	45	0.75		
0.18	60	1.00		
0.17	75	1.25		
0.16	120	2.0		
0.15	150	2.5		
0.14	180	3.0		
0.13	240	4.0		

Dozwolone czasy ekspozycji i ciśnienia cząstkowe tlenu w Nx akceptowane przez **NOAA** [27].

Allowable exposure times and oxygen partial pressures in Nx as approved by **NOAA** [27].

NOTE !

- Should one of the dives involve complete usage of the time or exceeding of the allowable exposure time, the diver will be required to take a rest at the surface for at least **2hours** before further exposures.
- If one or numerous dives carried out within **24hours**, thus leading to complete usage or exceeding of the maximum exposure time by **24hours**, the diver will be required to take a rest at the surface lasting at least **12hours** before further exposures [28].

W latach siedemdziesiątych **USNavy** zmieniła normy ekspozycji tlenowych ze względu na możliwość wystąpienia objawów **CNSyn**. Zmiany dotyczyły zmniejszenia dopuszczalnych ciśnień cząstkowych do $p_{O_2} \leq 0.20MPa$, podziału na ekspozycje standardowe i wyjątkowe, oraz zmniejszenia dozwolonych czasów pobytu dla poszczególnych ekspozycji. W tab. 3 pokazano akceptowane, do wczesnych lat dziewięćdziesiątych, ekspozycje tlenowe podczas nurkowań z wykorzystaniem tlenu [25]. W latach 90 ubiegłego wieku **USNavy** zmieniła dopuszczalne czasy ekspozycji tlenowych dla **CCR – SCUBA**³⁵ celem uelastycznienia operacji nurkowych [5]. W **1991 NOAA**³⁶ zmieniła swe przepisy dotyczące dozwolonych ciśnień cząstkowych tlenu podczas ekspozycji nitroksowych³⁷ Nx [27]. Nowelizacja polegała na zaakceptowaniu dłuższych czasów pobytu przy zachowanych dozwolonych ciśnieniach cząstkowych tlenu w Nx , oraz ustaleniu maksymalnego czasu ekspozycji w ciągu doby – tab. 4.

Przy nurkowaniach głębokich zwiększają się opory oddechowe na skutek wzrostu gęstości czynnika oddechowego. Wraz z oporami oddechowymi może wzrastać kumulacja CO_2 w organizmie nurka z wcześniej opisanych powodów. Z oddalaniem się od swobodnego lustra wody, komplikuje się możliwość udzielania pomocy lub samoratownia się nurków, z których jeden lub kilku uległoby zatruciu tlenowemu. Dlatego maksymalne, dozwolone ciśnienie cząstkowe tlenu przy nurkowaniach głębokich powinno być obniżane³⁸.

Podobnie podczas nurkowań w jaskiniach czy wrakach, z powodu ograniczonego dostępu do powierzchni, powinny obowiązywać zasady jak przy nurkowaniach głębokich. Rozgraniczenie na tlenowe ekspozycje standardowe i wyjątkowe wiąże się z warunkami nurkowania. Ekspozycje wyjątkowe można zastosować jedynie w celu ratowania życia ludzkiego lub w innych ważnych przypadkach losowych.

TOKSYCZNOŚĆ PŁUCNA

Tlen wykazuje toksyczne działanie na układ oddechowy. Efekt ten zaobserwowano po raz pierwszy podczas długiego³⁹ oddychania czystym tlenem przy ciśnieniu atmosferycznym – nazwano go efektem Lorraina Smitha od nazwiska odkrywcy, lub tlenową toksycznością płucną [29]. Objawy toksyczności płucnej są bardzo

In the 1970s, the **USNavy** introduced modification in the standards concerned with oxygen exposures due to the risk of occurrence of **CNSyn** symptoms. The changes involved a reduction in the allowable partial pressures to $p_{O_2} \leq 0.20MPa$, a division into standard and extraordinary exposures, and a reduction in the allowable stay times for particular exposures. Tab. 3 presents the specification of oxygen exposures in dives with the use of oxygen effective until the early 1990s [25]. In the 1990s, the **USNavy** modified the allowable oxygen exposure times for **CCR – SCUBA**³⁵ with the purpose of ensuring greater flexibility of diving operations [5]. In **1991 the NOAA**³⁶ changed the regulations concerning allowable oxygen partial pressures during nitrox exposures³⁷ Nx [27]. The amendment involved the approval of longer stay times with the preservation of allowable oxygen partial pressures in Nx , as well as setting the maximum exposure time within a 24-hour period - tab. 4.

In deep dives, breathing resistance increases due to an increased density of the breathing mix. This may be accompanied with an increased accumulation of CO_2 in a diver's organism due to previously described reasons. With an increased distance from the surface, the possibility to provide help or to self-rescue by divers of whom one or several experience oxygen toxicity becomes complicated. Hence, the maximum permitted oxygen partial pressures in deep dives should be reduced³⁸.

Similarly, during cave or wreck diving, due to a limited access to the surface, the same principles as those related to deep dives should be applied. The division into standard and extraordinary oxygen exposures is connected with diving conditions. Extraordinary exposures may be applied only with the purpose of rescuing a human life or under other important circumstances.

PULMONARY TOXICITY

Oxygen reveals its toxic effect on the respiratory system. This was observed for the first time during prolonged³⁹ respiration with pure oxygen at atmospheric pressure and is sometimes referred to as the **LorrainSmitheffect** after the pathologist who first observed it, or pulmonary oxygen toxicity [29]. The symptoms of pulmonary oxygen toxicity are very similar to pneumonia⁴⁰. During dives beyond the saturation zone, the

podobne do pneumonii⁴⁰. Podczas nurkowań poza strefą saturacji efekt ten odgrywa mniejszą rolę w porównaniu z efektem Lorraina Smitha, lecz zaleca się aby był on monitorowany podczas nurkowań tlenowych.

Jednostki toksyczności płucnej

W końcu lat sześćdziesiątych, ustalono dawkę **UTPD**⁴¹ tlenowej toksyczności płucnej, jako \dot{Q} równoważną jednominutowej ekspozycji przy ciśnieniu cząstkowym tlenu równym $p_{O_2} = 0.1MPa$ (30).

Repex

Najczęściej wykorzystywanym systemem zabezpieczenia przed toksycznością płucną jest metoda walidowana podczas programu **Repex** [31,32]. Jednak istnieje wiele innych modeli opisanych w piśmiennictwie [33]. Intensywne badania w tym zakresie wiążą się z rozwojem nurkowań technicznych oraz medycznym wykorzystaniem O_2 , lecz prowadzone są także badania nad aplikacjami wojskowymi [34].

effect plays a less significant role as compared to the **Paul Bert effect**; however, its monitoring is recommended in oxygen dives.

Pulmonary toxicity units

At the end of the 1960s, the dose **UTPD**⁴¹ of pulmonary oxygen toxicity \dot{Q} was determined as being equivalent to one-minute exposure with the oxygen partial pressure of $p_{O_2} = 0.1MPa$ (30).

Repex

The most commonly applied system of protection against pulmonary toxicity consists in a method validated during the **Repex** programme [31,32]. However, there are numerous different models described in the available literature [33]. An intense research conducted in this area is related to the development of technical dives and the medical use of O_2 ; however, there are also studies on military applications [34].

Tab. 5

Wartości minutowej dawki **UTPD · min⁻¹ tlenowej toksyczności płucnej \dot{Q}** , w funkcji ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} [35].

Values of a minute dose **UTPD · min⁻¹ of oxygen pulmonary toxicity \dot{Q}** , in the function of oxygen partial pressure p_{O_2} [35].

Oxygen partial pressure p_{O_2} [MPa]	The dose of oxygen pulmonary toxicity per minute \dot{Q} [UTPD · min ⁻¹]	Oxygen partial pressure p_{O_2} [MPa]	The dose of oxygen pulmonary toxicity per minute \dot{Q} [UTPD · min ⁻¹]
0.05	0.000	0.16	1.92
0.06	0.265	0.17	2.01
0.07	0.490	0.18	2.20
0.08	0.656	0.19	2.34
0.09	0.831	0.20	2.48
1.00	1.00	0.21	2.61
0.11	1.16	0.22	2.74
0.12	1.32	0.23	2.88
0.13	1.47	0.24	3.00
0.14	1.62	0.25	3.14
0.15	1.77		

Dozwolone dawki **tlenowej toksyczności płucnej Q** podczas wielodniowej ekspozycji tlenowej.

Allowable dosage of **oxygenpulmonarytoxicity Q** during an oxygen exposure lasting for many days.

Exposure time	Allowable daily dose of pulmonary oxygen toxicity Q	Allowable total dose of pulmonary oxygen toxicity Q
[days]	[UPTD]	[UPTD]
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12-30	300	

Tab. 7

Zmniejszenie życiowej pojemności płuc po ekspozycji tlenowej oraz wymagany czas odpoczynku niwelujący ten efekt.

The decrease in the vital capacity of lungs following an oxygen exposure and the required rest to level the effect.

Maximum absorbed dose of pulmonary oxygen toxicity Q	Decrease in the vital capacity of lungs	Minimum required time between oxygen exposures
[UPTD]	□	[hour]
615	2	2
825	4	4
1035	6	6
1230	8	8
1425	10	10-12
1815	15	13
2190	20	20

W systemie **Repex** przyjmuje się, że O_2 zaczyna być toksyczny dla tkanki płucnej, jeżeli jego ciśnienie cząstkowe przekroczy $p_{O_2} > 0.05MPa$. Do obliczeń **tlenowej toksyczności płucnej Q** można wykorzystać tab. 5, w której podano wartości minutowej dawki \dot{Q} w funkcji ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} . Przykładowo, oddychanie czystym O_2 przez $t = 30min$ pod ciśnieniem $p_{O_2} > 0.05MPa$ powoduje wystawienie nurka na dawkę toksyczności płucnej Q ok. $Q = \dot{Q} \cdot \tau = 1.77UTPD \cdot min^{-1} \cdot 30min \cong 53UPTD$, gdzie: \dot{Q} –minutowa dawka tlenowej toksyczności płucnej z tab. 5, τ –czas ekspozycji. W tym samym celu można się posłużyć zależnością funkcyjną [33,35]:

In The **Repex** system it is assumed that O_2 begins to be toxic in relation to the pulmonary tissue when its partial pressure exceeds $p_{O_2} > 0.05MPa$. The calculations on pulmonary oxygen toxicity Q may be carried out on the basis of tab. 5, which specifies the values of \dot{Q} dose per minute in the function of oxygen partial pressure p_{O_2} . For instance, breathing with pure O_2 for the period of $t = 30min$ under the pressure of $p_{O_2} = 0.15MPa$ causes diver's exposure to a pulmonary toxicity dose Q of ca.

$Q = \dot{Q} \cdot \tau = 1.77UTPD \cdot min^{-1} \cdot 30min \cong 53UPTD$, where: \dot{Q} –pulmonary toxicity dose per minute from tab. 5, τ – exposure time. For the same purpose we may use the following function relation [33,35]:

$$Q = t \cdot \left(\frac{p_{O_2} - p_{O_2max}}{p_{O_2max}} \right)^{\frac{5}{8}} \quad (1)$$

gdzie:

Q – dawkę toksyczności płucnej,

p_{O_2} – ciśnienie cząstkowe tlenu [MPa],

t – czas [min]

p_{O_2max} – ciśnienie, poniżej którego nie są obserwowane objawy toksyczności płucnej [MPa], $p_{O_2max} = 0.05MPa$,

$\frac{5}{8}$ – wykładnik potęgowy dla najlepszego modelu przybliżającego dane eksperymentalne.

Maksymalne, bezpieczne dawki tlenowej toksyczności płucnej Q zależą od czasu ekspozycji – tab. 6. W tab. 7 podano średnie wartości zmniejszenia życiowej pojemności płuc powstałej na skutek ekspozycji tlenowej oraz średni wymagany czas odpoczynku niwelujący ten efekt.

TOKSYCZNOŚĆ SOMATYCZNA I INNE ZAGROŻENIA

Tlen wykorzystywany jest w szerokich granicach swych ciśnień cząstkowych – tab. 8. Problemy związane z hipoksją są domeną medycyny lotniczej i kosmicznej. Ważne są także podczas przetrwania w wysokich górach. Dla nurków zjawisko to jest istotne przy nurkowaniach w wysokogórskich akwenach. Aklimatyzacja przed nurkowaniem i problemy dekompresyjne są w tych warunkach spowodowane nie tylko przez niższe ciśnienie otoczenia, lecz także zmniejszoną zawartością tlenu C_{O_2} . Czasami zawartość tlenu C_{O_2} jest celowo obniżana jak w przypadku gaszenia pożarów mieszaninami typu INERGEN⁴² – tab. 8.

$$Q = t \cdot \left(\frac{p_{O_2} - p_{O_2max}}{p_{O_2max}} \right)^{\frac{5}{8}} \quad (1)$$

where:

Q – pulmonary toxicity dose,

p_{O_2} – oxygen partial pressure [MPa],

t – time [min],

p_{O_2max} - pressure below which pulmonary toxicity symptoms are not observed [MPa], $p_{O_2max} = 0.05MPa$,

$\frac{5}{8}$ – exponent for the best model to approximate the experimental data.

Maximum safe doses of oxygen pulmonary toxicity Q depend on exposure time tab. 6. Tab. 7 presents average values related to the reduction of vital capacity of the lungs resulting from an oxygen exposure and the average required time of rest levelling that effect.

SOMATIC TOXICITY AND OTHER HAZARDS

Oxygen is used at a wide range of partial pressure values - tab. 8. The issues related to hypoxia constitute the domain of aerospace medicine. They are also important for survival on high mountains. With regard to diving, this phenomenon is significant in relation to bodies of water situated on high mountains. The acclimatisation performed before diving and the decompression problems are in such conditions caused not only by a lower ambient pressure but also due to a decreased oxygen content C_{O_2} . Sometimes the oxygen content C_{O_2} is deliberately decreased, as it is the case in fire extinguishing procedures with such mixes as INERGEN⁴² - tab. 8.

Ważniejsze wykorzystywane zakresy ciśnień cząstkowych tlenu.

The important applied ranges of oxygen partial pressures.

Oxygen partial pressure [MPa]	Specification
0.010	fire-extinguishing gases INERGEN ⁴³ - safe to breathe over a limited period of time with the mix of nitrogen, argon, CO₂ and oxygen, in which oxygen partial pressure drops to 0.008 MPa , on condition that the partial pressure of CO₂ will reach 0.005 MPa [36]
0.012	lower security limit due to hypoxia
0.016	first symptoms of hypoxia
0.021	regular oxygen partial pressure in atmospheric air
0.035-0.040	typical saturated exposures
0.050	maximum oxygen partial pressure during saturation dives and an onset of pulmonary oxygen toxicity ⁴⁴
0.10	breathing with pure oxygen on the surface
0.16	most commonly adopted upper security limit for nitrox dives beyond the saturation zone [27,35]
0.20	treatment table CX-30 ⁴⁵ prepared by COMEX in 1986. [37]
0.24	proposal to use nitrox Nx 0,4 with the pressure of 0,6 MPa in treating diving diseases [28]
0.25	upper limit of allowable combat dives with the use of oxygen ⁴⁶ [10]
0.28	20 min oxygen tolerance text [27] and oxygen treatment tables ⁴⁷
0.30	proposal to use nitrox Nx 0,5 with the pressure of 0.6 MPa in treating diving diseases ⁴⁸ [28]

Kancerogenne działanie **O₂** towarzyszy nie tylko działalności nurkowej, lecz samej naturze oddziaływania **O₂** na organizm ludzki [13]. Postulowana jest teoria mówiąca o tym, że to zawarty w powietrzu **O₂** i jego długotrwałe kancerogenne oddziaływanie odpowiada w dużej mierze za efekty starzenia⁴⁹.

Niewątpliwie z hiperoksją i hipoksją związane jest bezpośrednie zagrożenie utraty zdrowia i życia.

Przewlekła toksyczność tlenowa

Ogólnie trującym działaniem **O₂** zwanym także toksycznością somatyczną⁵⁰ nazywane są chroniczne⁵¹ następstwa oddychania czynnikiem o zwiększonym ciśnieniu cząstkowym tlenu **P_{O₂}**. Jednym z opisywanych efektów jest obserwowane odwracalne zmniejszenie zawartości hemoglobiny i liczby czerwonych ciałek krwi u nurków saturowanych, podobnie do występowania zwiększenia się ich liczby po długotrwałej aklimatyzacji do hipoksji. Efekty te u zdrowych osób są odwracalne, lecz należy je uwzględniać planując nurkowania lub wypoczynek po nich.

Innym, groźniejszym efektem jest parestezja⁵² i jałowa martwica kości, choć ich bezpośredni związek z nurkowaniem może być trudny do jednoznacznego wykazania [35].

Zespół chemisorpcji tlenu w uchu środkowym

Nieprzyjemnym efektem obserwowanym po nurkowaniach tlenowych może być zapadanie się błony bębenkowej będące skutkiem chemisorpcji **O₂** z jamy ucha środkowego.

Podczas zmiany głębokości nurkowania nurek zmuszony jest do wyrównywania ciśnienia w jamie ucha środkowego przez trąbkę Eustachiusza. Przy wielokrotnej

The carcinogenic effect of **O₂** accompanies not only diving activity, but the sole nature of the **O₂** effect on the human organism [13]. A theory is postulated saying that the **O₂** contained in the air and its long-term carcinogenic effect is largely correspondent to the effects of ageing⁴⁹.

Undoubtedly, hyperoxia and hypoxia are connected with a direct threat to health and life.

Chronic oxygen toxicity

A generally poisonous effect of **O₂**, also referred to as somatic toxicity⁵⁰ are chronic⁵¹ effects related to breathing with a mix of an increased oxygen partial pressure **P_{O₂}**. One of the described effects consists in an observed reversible reduction in the content of haemoglobin and the number of red cells in saturated divers, as well as an occurrence of their increased quantity after long-term acclimatisation to hypoxia. Such effects are reversible in healthy persons; however, they should be considered in planning dives and the periods of rest that follow them.

Another, more dangerous effect is paraesthesia⁵² and avascular necrosis, although their indirect connection to diving may be difficult to demonstrate [35].

Oxygen chemisorption in the middle ear

An unpleasant effect observed after oxygen dives may be a collapse of an eardrum as a result of **O₂** chemisorption from middle ear cavity.

During depth changes, a diver is forced to level the pressure in the middle ear cavity through the Eustachian tube. After repetitive depth changes during oxygen dives a significant increase in **O₂** concentration in the gas space of the middle ear is possible. Already minor symptoms of

zmianie głębokości podczas nurkowań tlenowych może dojść do znacznego zwiększenia stężenia O_2 w przestrzeni gazowej ucha środkowego. Już przy drobnych objawach przeziębienia kanał trąbki słuchowej zmniejsza swą drożność i nawet wytrenowani nurkowie⁵³ są zmuszeni wtedy do wykonywania forsownych *pr b Vals alvy*⁵⁴.

Zamknięty w przewodzie słuchowym O_2 ulega dyfuzji poprzez błonę okienka owalnego do ucha wewnętrznego gdzie jest absorbowany i konsumowany⁵⁵ powodując zmniejszenie ciśnienia w uchu środkowym oraz ucisk na błonę bębenkową z zewnątrz. Jeśli dopuści się do tego zjawiska podczas snu, to nurek obudzi się z bólem głowy wynikającym z nadwyrężenia błony bębenkowej. Zazwyczaj występuje przekrwienie błony bębenkowej, wysięki zarówno do ucha zewnętrznego, jaki i środkowego oraz wzmożone uwalnianie woskowiny w uchu zewnętrznym. Towarzyszy temu irytujące osłabienie wrażliwości słuchowej.

Nie dochodzi zazwyczaj do perforacji błony bębenkowej chyba, że na skutek wcześniejszych jej urazów powodujących zmniejszenie jej elastyczności czy powstanie zbliznowaceń.

Gro nym może być efekt nadmiernego nagromadzenia rozpuszczonego tlenu w perylimfie⁵⁶, któremu może towarzyszyć jej przemieszczanie powodując objawy podobne do zaburzeń neurologicznych występujących przy chorobie ciśnieniowej [38].

Znane są przypadki podrażnienia błędniaka powodujące jego wzmożoną aktywność, podczas dekompresji tlenowej lub leczenia hiperbarycznym tlenem. Efekt ten powiązany jest z przemieszaniem się limfy ze względu na różnice prężności rozpuszczonych w niej gazów. Przypadki takie rzadko spotykane były podczas operacji nurkowych w kraju jednak istnieją także wiarygodne opisy takich problemów w piśmiennictwie zagranicznym [39].

Oślepienie tlenowe

Zwężanie mózgowych naczyń krwionośnych, jako fizjologiczny efekt obronny związany z wystawieniem tkanki mózgowej na wysokie ciśnienia parcjalne tlenu może być szczególnie niebezpieczny dla narządu wzroku.

Podczas procedur leczniczej hiperbarii tlenowej⁵⁷ **HBOT** zaobserwowano przypadki zwężenia tętnicy zasilającej siatkówkę oka **CRAO**⁵⁸ postępujące nawet do jej całkowitego zaślepienia⁵⁹ a w efekcie do oślepienia. Szybkie przywrócenie krążenia powodowało przywrócenie widzenia [40].

Obserwowano także niepokojący odsetek noworodków tracących nieodwracalnie wzrok po utrzymywaniu ich przez długi okres czasu we wzbogaconej w O_2 atmosferze inkubatorów [13]. Z tego powodu obecnie do zasilania inkubatorów używa się czystego powietrza.

Zaburzenia wzrokowe związane z ekspozycjami na wysokie ciśnienia parcjalne tlenu były badane od samego początku naukowego podejścia do nurkowań z jego wykorzystaniem [41]. Stwierdzono wielokrotnie ewidentny niekorzystny wpływ tlenu pod wysokim ciśnieniem na narząd wzroku [14].

Zamroczenie tlenowe

Istnieje szerokie piśmiennictwo dotyczące zjawiska

a common cold cause the canal of the ear trumpet to reduce its patency and even the best-trained divers⁵³ need to perform forceful *Valsalva manoeuvres*⁵⁴. The O_2 trapped in the auditory canal is subject to diffusion through the membrane of the oval window into the inner ear, where it is absorbed and consumed⁵⁵ thus causing a pressure decrease in the middle ear and tension on the eardrum from the outside.

If this phenomenon is allowed during the sleep, the diver will wake up experiencing a headache resulting from an excessive strain on the eardrum. The usual symptoms include plethora of the eardrum, exudate both into the external ear and the middle ear, as well as an increased production of cerumen in the external ear. This is accompanied with an irritating reduction in the auditory sensitivity. Commonly there is no perforation of the eardrum unless it is due to previous injuries resulting in its reduced elasticity or cicatrization.

What may be hazardous is an excessive accumulation of dissolved oxygen in the perilymph⁵⁶ which may cause its dislocation, thus inducing symptoms resembling neurological disorders occurring in decompression sickness [38]. There have been reported cases of labyrinth irritation leading to its intensified activity during oxygen decompression of hyperbaric oxygen treatment. The effect was combined with the dislocation of the lymph due to pressure differences of the gases dissolved in it. Such cases were rarely encountered during domestic diving operations, nonetheless there are credible descriptions concerned with these issues in foreign literature [39].

Oxygen blindness

The vasoconstriction of cerebral blood vessels, as a physiological defence effect related to the exposure of the brain tissue to high oxygen partial pressures, may pose a particular threat to the organ of vision.

In the course of hyperbaric oxygenation procedures⁵⁷, **HBOT**, cases of the stenosis of the artery of the retina **CRAO**⁵⁸, progressed on to complete blindness⁵⁹. Quick restoration of circulation resulted in restored vision [40].

Also, another observation concerned a disturbing percentage of neonates irreversibly losing sight after being kept over a long period of time in incubators with an atmosphere enriched in O_2 [13]. For this reason, presently the incubators are supplied only with air.

Visual disturbances connected with exposures to high oxygen partial pressures have been investigated since the very beginning of a scientific attempt at performing dives with its use [41]. The adverse effect resulting from oxygen applied at a high partial pressures was observed on the organ of vision on numerous occasions [14].

Oxygen blackout

There is vast available literature on the phenomenon of oxygen deficiency related blackout in apnea dives. The issue concerned with the genesis of hypoxia during the return to the surface in these types of dives will not be discussed here.

The term oxygen blackout with regard to oxygen

zamroczenia tlenowego powiązanego z niedotlenieniem podczas nurkowań z zatrzymanym oddechem. Zagadnienie powstawania zjawiska niedotlenienia podczas powrotu na powierzchnię przy tego rodzaju nurkowaniach nie będzie tutaj opisywane.

Pod pojęciem zamroczenia tlenowego w odniesieniu do tlenowych nurkowań bojowych rozumie się najczęściej utratę przytomności przez nurka bojowego po przełączeniu się z oddychania tlenem na powietrze atmosferyczne po zakończeniu misji bojowej. Jednym z powodów może być wspomniana już obronna reakcja fizjologiczna polegająca na obkurczaniu naczyń mózgowych powodująca zmniejszenie mózgowego przepływu krwi. Towarzyszy temu zazwyczaj rozszerzenie naczyń obwodowych, które może prowadzić do hipotermii powodowanej chłodzeniem przez środowisko wodne.

W warunkach hiperbarycznych we krwi obwodowej prężność tlenu występuje na wyższym poziomie, stąd receptory tlenowe w kłębuszkach szyjnych powodują obniżenie akcji oddechowej i zmniejszenie przepływu krwi. Raptowne przełączenie się na oddychanie powietrzem zawierającym mniej O_2 połączone zazwyczaj z koniecznością wykonania pracy⁶⁰ przed relaksacją naczyń mózgowych i zwiększenia mózgowego przepływu krwi, może spowodować zjawisko niedotlenienia. Dodatkowo zmniejszeniu ciśnienia związanego z wynurzeniem towarzyszy zmniejszenie ciśnienia parcjalnego CO_2 zmniejszając stymulację oddechową podobnie jak po wykonaniu hiperwentylacji. Jeśli efekt ten wystąpi w wodzie istnieje możliwość zachłyśnięcia się wodą czy utonięcia nurka, lecz w większości wypadków prowadzi jedynie do chwilowej dezorientacji i utraty koncentracji [42].

Postulowane są hipotezy dopatrujące się toksycznego wpływu obserwowanej zwiększonej prężności O_2 w naczyniach mózgowych, lecz w świetle badań *in vivo* wydaje się, że wpływ hipercapnii na zjawisko zamroczenia tlenowego jest ograniczony, gdyż obserwowane zwiększenie prężności CO_2 jest w normalnych warunkach tolerowane bez-objawowo [43]. Chociaż zwiększenie prężności CO_2 w naczyniach mózgowych wpływa znacząco na trwanie O_2 przez hemoglobinę, to także i ten efekt nie ma istotnego znaczenia na występowanie zamroczenia tlenowego, lecz raczej na opisane wcześniej toksyczne oddziaływanie O_2 na tkankę mózgową. Wydaje się, że mechanizm zamroczenia tlenowego podczas misji tlenowej może wiązać się raczej ze zmniejszeniem prężności CO_2 w naczyniach obwodowych powodujący brak dostatecznej stymulacji ośrodka oddechowego⁶¹.

Bends

Badania na zwierzętach pokazały, że możliwe jest wystąpienie objawów choroby dekompresyjnej **DCS**⁶² powodowanej kompresją przy wykorzystaniu czystego tlenu i następnie szybką dekompresją [44,45]. Jednak przebieg tak wywołanego **bends** był łagodniejszy [7]. Tak wywołane **DCS** najczęściej nie wymaga leczenia hiperbarycznego ulegając samoistnej kompensacji w czasie [46].

combat dives will be understood as a loss of consciousness of a combat diver after switching from breathing oxygen to the air at the atmospheric pressure upon completion of a combat operation. One of the reasons may lie in the already mentioned physiological defence reaction of an organism consisting in the constriction of cerebral blood vessels leading to a reduced cerebral blood flow.

This is often accompanied by dilation of peripheral vessels that may lead to hypothermia caused by the cooling effect of the aquatic environment. In hyperbaric conditions, the oxygen pressure in the peripheral blood occurs at a higher level, hence the oxygen receptors in the carotid body cause slowing down of the respiratory activity and a decreased blood flow. A sudden switch to breathing air containing less O_2 , usually combined with the necessity to perform work⁶⁰ before relaxation of the cerebral vessels and an increase of the cerebral blood flow may induce the phenomenon of hypoxia. Additionally, a decrease in the pressure connected to the immersion is accompanied with a decrease in the CO_2 partial pressure thus reducing respiratory stimulation, similarly as it is after performing hyperventilation. If the effect occurs in water there is a risk of a diver's choking or drowning; however, in the majority of cases it only leads to temporary disorientation and loss of concentration [42].

There are postulated hypotheses on the toxic properties of an observed increased pressure of CO_2 in cerebral vessels; however, in the light of the *in vivo* studies it appears that the impact of hypercapnia on oxygen blackout is limited, as the observed increase in the CO_2 pressure is in normal conditions well tolerated and symptomless [43]. Although an increase in the CO_2 pressure in cerebral vessels has a significant impact on O_2 loss by haemoglobin, this effect has no significance for the occurrence of oxygen blackout, but rather for the previously described toxic effect of O_2 on the cerebral tissue. It seems that the mechanism of oxygen blackout during an oxygen mission may rather be related to a decrease in O_2 pressure in peripheral vessels causing a lack of sufficient stimulation of the respiratory center⁶¹.

Bends

Research on animals showed that there is a possible occurrence of symptoms of decompression sickness **DCS**⁶² induced by compression with the use of pure oxygen, followed by quick decompression [44,45].

However, the course of the thus induced **bends** would be milder [7]. The **DCS** induced this way usually does not require hyperbaric treatment being subject to intrinsic compression over time [46]. Although the phenomenon of oxygen **bends** is possible, it does not pose a significant threat during typical diving operations with the use of O_2 as a breathing mix. It may have an unfavourable impact on diver transportation by air following an oxygen exposure, for instance during the recover of a group/special section.

Aczkolwiek zjawisko tlenowego *bends* jest możliwe, to nie stwarza ono znacznego zagrożenia podczas typowych operacji nurkowych z wykorzystaniem O_2 jako czynnika oddechowego. Może mieć ono niekorzystny wpływ na przenoszenie nurków po ekspozycji tlenowej drogą powietrzną, przykładowo podczas odzyskiwania grupy/sekcji specjalnej.

PODSUMOWANIE

Tlen wykazuje toksyczność w stosunku do organizmu ludzkiego, lecz podczas nurkowań tlenowych i większości nurkowań bojowych najważniejszą rolę odgrywa jego ośrodkowa forma – *CNSyn*. W artykule opisano biochemiczny pogląd na *CNSyn* związany z powstawaniem wolnych rodników i form na wyższym stopniu utlenienia, które mogą być potencjalnie toksyczne dla organizmu ludzkiego. Wspomniano także o biochemicznych mechanizmach ochrony przed tymi szkodliwymi produktami, które jednak zabezpieczają jedynie w niewielkim zakresie organizm nurka przed *CNSyn*.

Do preselekcji osób wrażliwych na *CNSyn* w polskich siłach zbrojnych wprowadzono procedurę testu tolerancji tlenowej [47]. Procedura ta została opracowana w ramach projektu celowego Nr 148-101/C-T00/96 Technologia bojowych nurkowań tlenowych, zrealizowanego w latach 1996–1998 w Akademii Marynarki Wojennej.

Artykuł jest drugim z serii zawierających wyniki badań przeprowadzonych w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni a finansowanych ze środków na naukę w latach 2009 – 2011 w ramach projektu rozwojowego Nr O R00 0001 08 p.t.: Projektowanie dekompresji w misjach bojowych.

BIBLIOGRAPHY

1. Kłos R. *Diving apparatuses with breathing mix regeneration*. Poznań : COOPgraf, 2000. ISBN 83-909187-2-2
2. *Diving principles. Collective work*. Gdynia : Naval Command, 1984. Mar. Woj. 913/84
3. Kenny J.E. *Business of diving*. Houston : Gulf Publishing Co., 1973. ISBN 0-87201-183-6
4. Przyłpiak M., Torbus J. *Diving equipment and works - handbook*. Warsaw : Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1981. ISBN 83-11-06590-X
5. US Navy diving manual. *Collective work (revision 6)*. The Direction of Commander : Naval Sea Systems Command, 2008. 0910-LP-106-0957
6. Bitterman N. CNS oxygen toxicity. *Undersea and Hyperbaric Medicine Journal*. 2004, Vol. 31, 1, pp. 63-72
7. Donald K. *Oxygen and the diver*. Harley Swan : The SPA Ltd., 1992. ISBN 1-85421-176-5
8. Butler F.K., Thalmann E.D. CNS oxygen toxicity in closed-circuit SCUBA diving. [book's author] Matzen M.M. (ed.) Bachrach A.J. *Proc.Eight Symp. Underwater Physiol*. Bethesda : Undersea Medical Society, 1984, pp. 15-30
9. Central Nervous System oxygen toxicity in closed-circuit SCUBA divers II. *Undersea Biomedical Research*. 1986a, Vol.13, No 2 June, pp. 193-223
10. *CNS oxygen toxicity in closed-circuit SCUBA divers III*. Panama City : USN Experimental Diving Unit, 1986b. Report No 5-86
11. STANAG 1301. *Minimum conditions for survival in a distressed submarine prior to escape or rescue*. Brussels : NATO Standardization Agency, 2010. STANAG 1301
12. Torbati D., Church D.F., Keller J.M., Pryor W.A. Free radical generation in the brain precedes hyperbaric oxygen induced convulsions. *Free Radical Biology and Medicine*. 1992, Vol. 13, pp. 101-106
13. Bartosz G. *Oxygen's other face - free radicals in nature*. Warsaw : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008. ISBN 978-83-01-13847-9
14. Clark J.M., Thom S.R. Oxygen under pressure. [book's author] Neuman T.S. Brubakk A.O. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. Edinburgh : Saunders, 2003
15. Berg J.M., Tymoczko J.L., Stryer L. *Biochemia*. Warsaw : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007. ISBN 978-83-01-14379-4
16. Stryer L. *Biochemistry*. Warsaw : Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997. ISBN 83-01-12044-4
17. Harabin A.L., Survanshi S.S., Homer L.D. *A model for predicting central nervous system toxicity from hyperbaric oxygen exposure in man: effects of immersion, exercise, and old and new data*. Bethesda : Naval Medical Research Institute, 1994. NMRI 94-0003; AD-A278 348
18. Nowotny F., Samotus B. *General biochemistry*. Warsaw : PWRiL, 1971
19. Brubakk A.O., Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. no place : Saunders, 2003. ISBN 0-7020-2571-2

CONCLUSIONS

It is true that oxygen manifests its toxicity towards the human organism; however, during oxygen dives and in the majority of combat dives the most important role is played by its central form – *CNSyn*. The article described a biochemical approach to *CNSyn* connected to the emergence of free radicals and forms of a higher oxygenation level, which may be potentially toxic for the man. Moreover, it mentioned biochemical protection mechanisms against those harmful products, which, however, ensure only minimal security against *CNSyn*.

The procedure of pre-selection of persons sensitive to *CNSyn* within the Polish armed forces was enhanced with an oxygen tolerance test [47]. The procedure was outlined within the targeted project No. 148-101/C-T00/96 entitled Technology of Oxygen Combat Diving implemented in the years 1996-1998 by the Polish Naval Academy.

This article is second in a series of articles containing the results of studies conducted in the Naval Academy of Gdynia and financed from educational funds in the years 2009 – 2011 within a developmental research project No. O R00 0001 08 entitled: Designing decompression in combat missions.

20. Harabin A.I., Survanshi S.S. *A statistical analysis of recent NEDU single-depth human exposures to 100% oxygen at pressure*. Bethesda : Naval Medical Research Institute, 1993. NMRI 93-59; AD-A237 488
21. Vann R.D. Oxygen exposure management. *AquaCorps*. 1993, 7, pp. 54-59
22. Swiergosz M.J., Keyser D.O., Koller W.A. *Melatonin Does Not Provide Protection Against Hyperbaric Oxygen (HBO) Induced Seizures*. Silver Spring : Naval Medical Research Institute, 2004. NMRC 2004-001
23. Bader N., Boser-Westphal A., Koch A., Rimbach G., Weimann A., Poulsen H.E. and Müller M.J. Effect of hyperbaric oxygen and vitamin C and E supplementation on biomarkers of oxidative stress in healthy men. *British Journal of Nutrition*. 2007, Vol. 98, pp. 826-833
24. Rencricca N.J., Coleman R.M. *Modulation of Oxygen Toxicity by Select Anti-Melanogenic Compounds*. Lowell : University of Lowell, 1979. Office of Naval Research ADA078239
25. US Navy Diving Manual. *Collective work*. Carson California : Best Publishing Co., 1980. NAVSEA 0994-LP-001-9010
26. Betts E.A. *The application of enriched air mixtures*. no place : American Nitrox Divers Inc., 1992
27. NOAA. *NOAA diving manual - diving for science and technology*. IV. Flagstaff : Best Publishing Co., 2001. ISBN 0-941332-70-5
28. Rutkowski D. *Nitrox manual*. Key Largo : Hyperbarics International, Inc., 1990
29. Shilling C.W. *A history of the development of decompression tables*. Bethesda : Undersea Medical Society, Inc., 1981
30. Harabin A.L., Homer L.D., Weathersby P.K., Flynn E.T. An analysis of decrements in vital capacity as an index of pulmonary oxygen toxicity. *J Appl Physiol*. 1987, Vol. 63, pp. 1130-1135
31. Hamilton R.W., Kenyon D.J., Peterson R.E. *REPEX Habitat diving procedures: Repetitive vertical excursions, oxygen limits, and surfacing techniques*. no place : National Oceanic and Atmospheric Administration, 1988. Technical Report 88-1B
32. Hamilton R.W., Kenyon D.J., Peyerson R.E., Butler G.J., Beers D.M. *REPEX: Development of repetitive excursions, surfacing techniques, and oxygen procedures for habitat diving*. no place : National Oceanic and Atmospheric Administration, 1988. Technical Report 88-1A
33. Shykoff B. *Performance of various models in predicting vital capacity changes caused by breathing high oxygen partial pressures*. Panama City : Navy Experimental Diving Unit, 2007. NEDU Report TR 07-13
34. Arieli R., Yalov A., Goldenshluger A. Modeling pulmonary and CNS O₂ toxicity and estimation of parameters for humans. *J Appl Physiol*. 2002, Vol. 92, pp. 248-256
35. Hamilton R.W. Tolerating exposure to high oxygen levels: Repex and other methods. *Mar.Tech.Soc.J*. 1989, Vol. 23, pp. 19-25
36. Fire research, Test, Development and Education Centre. *Test report: Safety at 8% oxygen - 15 minutes*. Copenhagen : Fire research, Test, Development and Education Centre, 1993
37. Comex Marseille. *Medical Book*. Marseille : Comex, 1986
38. Farmer J.C., Thomas W.G. Ear and sinus problems in diving. [book's author] Strauss R.H. *Diving medicine*. New York : Grune & Stratton, Inc., 1976
39. Strauss R.H. *Diving medicine*. New York : Grune & Stratton Inc., 1976. ISBN 0-8089-0699-2
40. Anderson B., Saltzman H.A., Barbee J.Y. Retinal Vascular and Functional Response to Hyperbaric Oxygenation. [book's author] Cox B.G. Brown I.W. *Proceedings of the Third International Conference on Hyperbaric Medicine*. Durham : Duke University, 1965, pp. 276-280
41. Donald K.W. Oxygen poisoning in man part I. *British Medical Journal*. May 17, 1947, pp. 667-672
42. STANAG 1432. *Multinational guide to diving medical disorders*. Brussels : NATO Standardization Agency, 2000. ADivP-2(A)/MDivP-2(A)
43. Lamberdsen C.J., Kough R.H., Cooper D.Y., Emmel G.L., Loeschcke, Schmidt C.F. Oxygen toxicity. Effects in man of oxygen inhalation at 1 and 3.5 atmospheres upon blood gas transport, cerebral circulation and cerebral metabolism. *Journal of Applied Physiology*. 1953, Vol. 9, 9, pp. 471-486
44. Donald K.W. Oxygen Bends. *J Appl Physiol*. 1955, Vol. 7, pp. 639-644
45. Bennett P.B., Elliott D.H. *The physiology and medicine of diving*. London : W.B. Saunders Company Ltd., 1993. ISBN 0-7020-0538-X
46. Vann R.D. The physiology of NITROX diving. [book's author] Crosson D.J., Hulbert A.W. Hamilton R.W. *Workshop on enriched air NITROX diving*. no place : National Oceanic and Atmospheric Administration, 1989
47. Kłos R. Oxygen tolerance text. *Polish Hyperbaric Research*. 2013, Vol. 45, 4, pp. 69-78
48. Groöger M., Öter S., Simkova V., Bolten M., Koch A., Warninghoff V., Georgieff M., Muth C.M., Speit G., Radermacher P. DNA damage after long-term repetitive hyperbaric oxygen exposure. *J Appl Physiol*. 2009, Vol. 106, pp. 311-315
49. Maritime Rescue Command *Temporary instruction: Standard pressures and oxygen tolerance test*. Gdynia : Naval Command, 2007. Appendix 2 to an order of the Commander-in-chief of the Polish Navy no. 30/SRM of 02.04.2007

¹ zdolność żywego organizmu do zachowywania względnie stałego stanu równowagi np. składu krwi, temperatury, przez odpowiednią koordynację i regulację procesów życiowych,

¹ a living organism's capability to maintain a relatively permanent state of balance, e.g. in blood composition, temperature, through proper coordination and regulation of life processes,

² przepisy nurkowania zostały wycofane ze względu na wadę prawną związaną z ich wprowadzeniem [2],

² the diving regulations were withdrawn due to a legal defect related to their implementation [2],

³ toksyczne działanie tlenu na ośrodkowy układ nerwowy nazywane jest **efektem Paula Berta** lub stosowany jest akronim **CNS** – **Central Nervous Syndrome**; na potrzeby tej pracy, będzie używany akronim **CNSyn** celem odróżnienia od stosowanego akronimu **CNS** dla systemu nerwowego (**Central Nervous System**),

³ the toxic effect of oxygen on the central nervous system is called **Paul Bert's effect** or the acronym **CNS-Central Nervous Syndrome** is used; for the purposes of this paper, we shall apply the acronym **CNSyn** in order to distinguish it from the acronym **CNS** applied in relation to the nervous system (**Central Nervous System**),

⁴ grupa atomów, na ogół niezdolna do trwałego samodzielnego istnienia, mająca niesparowane elektrony – wolne wartościowości,

⁴ a group of atoms, usually incapable of durable individual existence, with unpaired electrons - free valencies,

⁵ receptor nerwowy,

⁵ neural receptor,

⁶ dwa rodzaje receptorów **GABA** wiążących kwas γ -aminomasłowy:

–receptor **GABA_A** reguluje napływ jonów chlorkowych do wnętrza komórki utrudniając powstawanie potencjałów czynnościowych odpowiadających za przekazywanie informacji w układzie nerwowym

–receptor **GABA_B** reguluje napływ jonów potasowych oraz wapniowych neutralizując wpływ jonów chlorkowych i regulując uwalnianie neuroprzebieżników,

⁶ there are two types of **GABA** receptors binding γ -aminobutyric acid:

- **GABA_A** receptor regulates the inflow of chloride ions into cells, inhibiting the firing of new action potentials responsible for transmitting information in the nervous system

- **GABA_B** receptor regulates the inflow of potassium and calcium ions neutralising the impact of chloride ions and regulating neurotransmitter release,

⁷ w większości białkowe, wielkocząsteczkowe związki chemiczne regulujące przebieg procesów życiowych,

⁷ mainly protein, high polymer chemical compounds regulating life processes,

⁸ neuroprzebieżnik zamieniają cy sygnał elektryczny na sygnał chemiczny w synapsie odgrywają cy podstawową rolę w szybkim przewodzeniu sygnałów nerwowych,

⁸ a neurotransmitter replacing an electrical signal with a chemical signal in a synapse, playing an essential role in a quick transmission of nerve signals,

¹¹ ang. Hyperbaric Oxygen Therapy; używany jest także skrót **HBO**,

¹¹ known as Hyperbaric Oxygen Therapy; also in an abbreviated form **HBO**,

¹⁰ obserwowana reakcja obronna na zwiększenie się ciśnienia parcjalnego tlenu,

¹⁰ an observed defence reaction to the growth in oxygen partial pressure,

¹¹ drgawek,

¹¹ spasms,

¹² wśród takich inhibitorów można wymienić przykładowo kofeinę,

¹² caffeine is an example of such inhibitors,

¹³ np. adenozynotrójfosforanu – **ATP**, guanozynotrójfosforanu – **GTP**,

¹³ e.g. adenosine triphosphate – **ATP**, guanosine triphosphate – **GTP**,

¹⁴ np. powodują dezaktywację wielu enzymów,

¹⁴ e.g. cause deactivation of numerous enzymes,

¹⁵ np. przez: witaminę E, katalazy, peroksydazy itd.,

¹⁵ e.g. through: vitamin E, catalases, peroxidases, etc.,

¹⁶ najczęściej wymienia się pośród nich drgawki,

¹⁶ convulsions are the most often mentioned symptoms,

¹⁷ this is an indirect evidence of the above mechanism,

¹⁷ pośrednio jest to dowodem na wyżej opisany mechanizm,

¹⁸ transportu elektronów,

¹⁸ electron transportation,

¹⁹ *cytochromy* są to występujące w mitochondriach komórkowych białka wykazujące właściwości biokatalizatorów uczestniczących w transporcie elektronów,

¹⁹ *cytochromes* are proteins occurring in the cell mitochondria demonstrating the properties of biocatalysts participating in electron transportation,

²⁰ otoczona błoną struktura występująca w plazmie większości komórek posiadających jądro komórkowe będąca miejscem, w którym w wyniku procesu oddychania komórkowego powstaje większość *ATP* komórki,

²⁰ a structure surrounded with a membrane occurring in the plasma of most cells with a nucleus, being a place where as a result of the cellular respiration process the majority of cell *ATP* is produced,

²¹ oksydacyjno-redukcyjne,

²¹ oxidant-antioxidant,

²² tzw. widzenie tunelowe,

²² the so-called tunnel vision,

²³ zaleca się jednak zapoznanie nurków z nimi, gdyż czasami wyszkoleni nurkowie szybciej zauważali początki zatrucia nie dopuszczając do wystąpienia ciężkich objawów *CNSym* [17],

²³ however, it is recommended to make the divers acquainted with them, as sometimes trained divers were able to notice the onset of oxygen toxicity faster, thus preventing the occurrence of *CNSym* severe symptoms [17],

²⁴ due to good oxygenation of an organism,

²⁴ ze względu na dobre natlenienie organizmu,

²⁵ np. przestrzeni aparatu nurkowego z ograniczoną wymianą gazową,

²⁵ e.g. spaces of a diving apparatus with a limited gas exchange,

³⁷ hipokapnia, także hipokarbia jest stanem obniżonego ciśnienia parcjalnego *CO₂* we krwi poniżej normy,

³⁷ hypocapnia, also hypocarbia, is a condition of a reduced partial pressure of *CO₂* in the blood below the specified norm,

²⁷ wraz ze zmniejszeniem się wartości *pH* zmniejsza się zdolność wiązania tlenu przez hemoglobinę - *efekt Bohra*,

²⁷ an increase in the *pH* value causes an increase in the haemoglobin's binding capability of oxygen - *Bohr effect*,

²⁸ hormon regulujący rytmy okołodobowe, m.in. snu i czuwania,

²⁸ a hormone regulating circadian rhythms, for instance of sleep and awakesness,

²⁹ zakażenie powoduje znaczną produkcję oksydantów przez pierwotniaki malarii,

²⁹ an infection causes a significant production of oxidants by malaria protozoans,

³⁰ dozwolony przeciwutleniacz stosowany w przemyśle spożywczym w zapobieganiu niepożądanym procesom utleniania przedłużający czas trwałości żywności: *E - 315*

³⁰ an allowable antioxidant used in food industry in prevention of undesired oxidation processes, extending the durability of foodstuffs *E - 315*,

³¹ stanowiącego witaminę *C*

³¹ constituting vitamin *C*,

³² obserwowane często występowanie różnic w aktywności biochemicznej izomerów optycznych,

³² an observed common occurrence of differences in biochemical activity of optical isomers,

³³ w tabelach *NOAA* przyjęto ten próg, jako *0,06 MPa*,

³³ in *NOAA* tables the threshold of *0.06 MPa* was adopted,

³⁴ dodatkową komplikacją jest fakt, że ciśnienie cząstkowe tlenu w czasie nurkowania może ulegać zmianom w dość szerokim zakresie,

³⁴ an additional complication lies in the fact that oxygen partial pressure may be subject to significant changes in the course of diving,

³⁵ niezależne aparaty nurkowe o zamkniętym obiegu tlenu, jako czynnika oddechowego: ang. Closed Circuit Re-breather – Self Contained Breathing Apparatus,

³⁵ a closed circuit re-breather for oxygen as a breathing mix – Self Contained Breathing Apparatus,

³⁶ *National Oceanic and Atmospheric Administration*,

³⁶ *National Oceanic and Atmospheric Administration*,

³⁷zmiany te poprzedzone były badaniami medycznymi, prowadzonymi między innymi podczas ponad dziesięcioletnich nurkowa z wykorzystaniem mieszanin nitroksowych, jako czynnika oddechowego oraz programu **Repax** [31,32,35],

³⁷the said changes were preceded with medical examinations conducted during dives over ten-years with the use of nitrox mixes and **Repax** programme [31,32,35],

³⁸często zaniebdywany jest przy tego typu operacjach czynnik stresu, który może znacznie zwiększyć mózgowy przepływ krwi w nie mniejszym stopniu niż inne wcześniej wymienione czynniki,

³⁸in such operations there is a tendency to neglect the aspect of stress, which may significantly increase cerebral blood flow to a similar extent as other enumerated factors,

³⁹powyżej **24 godz**,

³⁹more than **24hours**,

⁴⁰zapalenia płuc – objawy to: suchy kaszel, zwiększanie oporów oddechowych, kłopoty z wykonywaniem pełnych wdechów itp.,

⁴⁰the symptoms include: dry cough, increased respiratory resistances, problem to perform full inhalations, etc.,

⁴¹ang. unit of pulmonary toxic dose **UPTD**, cumulative pulmonary toxic dose – **CPTD**, oxygen tolerance unit – **OTU**,

⁴¹unit of pulmonary toxic dose – **UPTD**, cumulative pulmonary toxic dose – **CPTD**, oxygen tolerance unit – **OTU**

⁴²na uwagę zasługuje fakt częściowego wzajemnego znoszenia się hipoksji i hiperkapnii w atmosferze **INERGENu**,

⁴²what should be noted is a fact of partial mutual cancellation of hypoxia and hypercapnia in the atmosphere of **INERGEN**,

⁴³mieszanina argonu, ditlenku węgla i azotu z powietrzem [36],

⁴³a mix of argon, carbon dioxide and nitrogen with air [36],

⁴⁴efek **Lorraine Smitha**,

⁴⁴**Lorrain Smith** effect,

⁴⁵użycie helioks **Hx 0.5** przy ciśnieniu **0.4MPa** [37],

⁴⁵the use of heliox **Hx 0.5** at the pressure of **0.4MPa** [37],

⁴⁶krótkie ekspozycje,

⁴⁶short exposures,

⁴⁷optymalne warunki do "płukania" ustroju z azotu,

⁴⁷optimal conditions to "ventilate" the system of nitrogen,

⁴⁸efektywna redukcja rozmiarów pęcherzyków gazowych przy chorobie ciśnieniowej,

⁴⁸an effective reduction of gas bubbles in decompression sickness,

⁴⁹np. opisano kancerogenne działanie tlenu występujące podczas wielokrotnych długich ekspozycji tlenowych [49],

⁴⁹e.g. the carcinogenic effect of oxygen occurring during numerous and long oxygen exposures [49],

⁵⁰somatyczny to dotyczący ciała; cielesny, fizyczny,

⁵⁰Somatic, i.e. concerning the body; bodily, physical,

⁵¹przewlekłe,

⁵¹chronic,

⁵²zaburzenia w odbieraniu wrażeń dotykowych polegające na błędnej lokalizacji działających bodźców i spaczonym ich odczuwaniu, jako: cierpienie, drętwienie, mrowienie itp.,

⁵²an impairment in the reception of tactile sensations consisting in an erroneous localisation of stimuli and a distorted experience of numbness, stiffening, tingling, etc.,

⁵³którzy nie mają problemów z wyrównywaniem ciśnienia poprzez przełykanie śliny czy ruchy dolną szczęką,

⁵³those who do not have a problem with equalising pressure by swallowing saliva or making movements with lower jaw,

⁵⁴wdmuchiwanie czynnika oddechowego z płuc do nosa przy zamkniętych ustach i uciśniętych skrzydełkach nosa,

⁵⁴blowing a breathing mix from the lungs into the nose while the mouth is closed and the alae of the nose are pinched,

⁵⁴absorpcja fizyczna połączona z reakcją chemiczną określana jest, jako chemisorpcja,

⁵⁴physical absorption combined with a chemical reaction is referred to as chemisorption,

⁵⁶inaczej przechłonka, to płyn wypełniający błędnik kostny w uchu wewnętrznym,

⁵⁶or perilympha, a liquid filling the bony labyrinth in the inner ear,

⁵⁷postępowanie lecznicze stosowane często do ogólnego i miejscowego natleniania tkanek przeciwko beztlenowcom, po zatruciach oddechowych, do zabezpieczenia przeszczepów, odmrożeń, poparzeń, uszkodzeń poradiacyjnych, zapalenia kości i szpiku, zabezpieczenia trudno gojących się ran, nagłej głuchoty itp.,

⁵⁷treatment applied frequently for general and local oxygenation of tissues against anaerobes, following respiratory poisoning, to secure transplants, frostbites, burns, post-radiation damage, osteoarthritis, osteomyelitis, secure slow-healing wounds, sudden deafness, etc.,

⁵⁸ang. Central Retinal Artery Occlusion – **CRAO**,

⁵⁸known as Central Retinal Artery Occlusion – **CRAO**,

⁵⁹częściej zaślepienie dotyczy jedynie odgałęzienia głównej tętnicy zasilającej siatkówkę i może być obserwowane jak częściowe kłopoty z ostrością widzenia, podobne efekty daje wiele chorób układu krążenia a w tym systemowe nadciśnienie, stany zapalne tętnic czy takie choroby jak syfilis,

⁵⁹the blindness concerns more often only the part of the main artery supplying the retina and may be observed as a partial problem with acuity, with similar effects provided by numerous diseases of the circulatory system, including system hypertension, inflammatory states of arteries or such diseases as syphilis,

⁵⁹np. związanej z koniecznością utrzymania się na powierzchni wody, wyjścia na brzeg, odpłynięcia z rejonu, przeciwdziałania falowaniu itp.,

⁵⁹e.g. connected with the necessity to maintain position on the surface of the water, go ashore, swim away from the area, counteract waves, etc.,

⁶¹jakkolwiek brak stymulacji układu nerwowego powoduje perturbacje z przewodzeniem sygnałów, którym najczęstszym efektem jest wyłączenie kontroli prowadzącym do ustania akcji oddechowej,

⁶¹any lack of stimulation of the nervous system results in perturbations in signal transmission, with the most common consequence being control deactivation leading to respiratory arrest,

⁶²ang. decompression sickness,

⁶²decompression sickness.

dr hab. inż. Ryszard Kłos, 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
skrzyn@wp.pl

PILOT SURVEY STUDIES ON BASIC KNOWLEDGE ON THE TECHNOLOGY OF UNMANNED UNDERWATER VEHICLES**PILOTOWE BADANIA ANKIETOWE PODSTAWOWEJ ZNAJOMOŚCI TECHNIKI BEZZAŁOGOWYCH POJAZDÓW PODWODNYCH****Пилотный опрос базовых знаний в области подводных беспилотных аппаратов**Zbigniew Talaśka¹⁾, Adam Olejnik¹⁾, Tadeusz Graczyk²⁾

1) Institute of Underwater Works Technology, Polish Naval Academy, Gdynia, Poland

1) Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

2) Department of Ship Construction, Mechanics and Technology Institute of Marine Technology and Transportation, West-Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

2) Katedra Konstrukcji, Mechaniki i Technologii Okrętów, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article presents results of pilot survey studies on the knowledge of the basic issues regarding the technology of unmanned underwater vehicles. The studies were conducted on a group of male and female students of the Polish Naval Academy and the West-Pomeranian University of Technology. The studies are not linked to any current scientific project nor are they financed from any scientific fund (the authors hereby thank the editorial staff for a free-of-charge publication). The imperative to implement the above research stemmed from the authors' pure curiosity. Despite its realisation on a non-representative sample, the obtained results indicate the potential to conduct further investigation in the specified area, as it seems that regardless of the constant "bombing" with information in the mass media the knowledge on this type of technology is still scarce.

Key words: underwater works technology, unmanned underwater vehicle, marine engineering.

W artykule przedstawiono wyniki pilotażowych badań ankietowych na temat znajomości podstawowych zagadnień z zakresu technologii bezzałogowych pojazdów podwodnych. Badania wykonano w oparciu o grupę kobiet i mężczyzn studiujących w Akademii Marynarki Wojennej i Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym. Nie są one obecnie powiązane z żadnym projektem naukowym i nie były finansowane z jakichkolwiek środków przeznaczonych na naukę (autorzy dziękują redakcji za nieodpłatne ich opublikowanie). Imperatyw ich realizacji zrodził się z czystej ciekawości osób je realizujących. Pomimo tego, że wykonano je na niereprezentatywnej próbie osób ich wyniki, jako potencjalny wstęp do dalszych działań poznawczych, mogą być interesujące. Okazuje się bowiem, że mimo niemal codziennego "bombardowania" ludzi informacjami na temat tej technologii z różnego rodzaju publikatorów, wiedza na ten temat jest raczej nikła.

Słowa kluczowe: technologia prac podwodnych, bezzałogowe pojazdy podwodne, inżynieria morska.

В статье представлены результаты пилотного исследовательского опроса на тему знания основных вопросов в области технологии беспилотных подводных аппаратов. Исследование было проведено на основе группы мужчин и женщин, обучающихся в Военно-Морской Академии и Западно-Поморским Технологическим Университете. Этот опрос в настоящее время не связан с никаким научно-исследовательским проектом и не был фондирован из средств на науку (авторы благодарят редакцию за их бесплатную публикацию). Императив его исполнения родился из чистого любопытства лиц, которые это реализовали. Несмотря на то, что они сделаны на нерепрезентативной группе лиц, их результаты, возможно, могут представлять интерес в качестве потенциального вступления к дальнейшей познавательной деятельности. Оказывается, что, несмотря на почти ежедневную "бомбардировку" людей сведениями на тему технологии из различных видов средств массовой информации, знания на эту тему довольно скудные.

ключевые слова: технология дноуглубительных работ, беспилотные подводные аппараты, морская инженерия.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 35 - 44

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.3

Pages: 10, figures: 13, tables: 0.

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

Typ artykułu: statystyczny
Statistical article

Termin nadesłania: 25.03. 2014 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.06.2014 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Bezsprzecznie można powiedzieć, że wszelkiego rodzaju technika bezzałogowa morska, powietrzna i lądowa zawładnęła ostatnio wyobraźnią i myślami niemal całej ludzkości. Praktycznie nie ma dnia, aby w codziennych wiadomościach nie ukazywały się informacje na temat jej wykorzystania, na wszelakich polach eksploatacji. Poszukuje i niszczy miny, narkotyki, nadzoruje z powietrza pożary, czy też pełza po zagruzowanych budynkach, lata w powietrzu i zanurza się w wodzie. Wychyla się z ekranu kinowego i co ciekawe, nie podczas filmu SF. Prawie każdy jest przekonany, że coś na ten temat wie, że używając magicznego słowa "dron" z dowolnym określnikiem oznaczającym pole eksploatacji danego urządzenia, już znajduje się na czele technologicznej awangardy. Do tego zagadnienie jest modne i nośne.

Stąd też niemal na każdej uczelni, ktoś zajmuje się nim w większym lub mniejszym stopniu. Czasem z różnym skutkiem. Niektóre nawet informatycznie genialne rozwiązania, opakowane w nieumiejętną technikę głębinową, toną na głębokości 50 cm. Orzeka się wtedy, że to tylko model konstrukcji, nawet nie zasługujący na miano demonstratora technologii, przeznaczony do weryfikacji architektury systemu informatycznego i dalej z powodzeniem i ochotą wydaje się pieniądze podatnika.

Politycy słowo *bezzałogowce* odmieniają każdego dnia, przez wszystkie przypadki, bo to właśnie te rozwiązania mają stać się lekarstwem na wiele lat dziwnej polityki rozwojowej uzbrojenia. I nawet ONZ pochylił się ostatnio nad problemem, na wniosek duńskiego dyplomaty Michaela Moeller'a, bo jego zdaniem, sytuacja może za chwilę wymknąć się spod kontroli i należy już dziś podejmować zdecydowane kroki, dopasowując prawo międzynarodowe tak, aby zakazać konstruowania i budowania zbyt autonomicznych robotów, samodzielnie podejmujących decyzję o zabijaniu ludzi. Co jest niestety obrazem tego, że współczesne pole walki, znacznie się nam dehumanizuje i niedługo może dojść do sytuacji, w której robot sam zadecyduje o zabiciu człowieka. Staje się więc cokolwiek groźnie, ale co powszechnie wiadomo o tej technologii?

Pomijając aspekty etyczne i te związane z międzynarodowym prawem humanitarnym. Jak jest naprawdę? Jaki jest poziom wiedzy na temat bezzałogowców?

Autorzy doskonale zdają sobie sprawę, że nie są w stanie rzetelnie odpowiedzieć na tak zadane pytania i to z kilku powodów. Przede wszystkim dlatego, że trzeba by przeprowadzić badania i to zakrojone na szeroką skalę, a na takie nie ma środków. Z drugiej strony jednak, jako nauczyciele ośrodków akademickich mamy do dyspozycji pewne możliwości i mogliśmy przeprowadzić przynajmniej pilotowe badania ankietowe, w zdefiniowanym środowisku ludzi, którzy już niedługo zetkną się z technologią bezzałogowych pojazdów podwodnych. I to właśnie udało nam się wykonać.

Przy okazji codziennej praktyki nauczania na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni oraz na Wydziale Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie przeprowadzono badania ankietowe, których wyniki przedstawione są w niniejszym artykule. To badania pilotowe, jeśli miałyby przyczynić się do podjęcia bardziej złożonych i szerszych dociekań naukowych na tym polu będziemy radzić i każdemu

INTRODUCTION

One may undoubtedly say that all types of unmanned marine, air and land technology have recently conquered the imagination and the way of thinking for almost all humanity. Practically every day we are provided with news concerned with their application in all possible fields of exploitation. Such technology is used in the search for (and subsequent destruction of) mines and narcotics, to provide fire-fighting surveillance from the air or to move around ground that is covered in rubble, it is capable of flying and of moving under water. It lurks from the cinema screen, not only in sci-fi movies.

Almost everyone believes they have knowledge of this technology, and that by using the magic word "drone" with a random modifier indicating the field of exploitation of a particular device, they already place it at the top of technological avant-garde. Moreover, the subject matter is fashionable and popular. Hence, at almost each university there is someone dealing with this matter to a lesser or greater extent, and with varying levels of success. For it is true that even the most outstanding IT solutions will flood in just 50 cm of water if wrapped up in an inadequately waterproofed shell, at which point it is usually stated that the presented equipment was merely a construction model, not even deserving to be called a technology demonstrator, designed to verify the sole architecture of the IT system, which is followed by further joyful spending of the taxpayers' money.

Everyday politicians make references to *unmanned vehicles*, as such solutions are to become the cure for the odd long-term development policy regarding the nation's armament. And even the UN has recently discussed the issue on motion of a Danish diplomat, Michael Moeller, as in his opinion the situation may get out of hand and decisive actions need to be taken towards the adjustment of the international law in such a way as to prohibit construction of overtly autonomous robots capable of taking independent decisions to kill humans.

Unfortunately, this viewpoint depicts a contemporary battlefield that is becoming dehumanised, where soon we will have to face a situation where a robot could make the actual decision to kill a person. As we see, the situation is becoming rather dangerous. But what is the common knowledge on this technology? For now, let us answer this question leaving the ethical aspects and those related to international humanitarian law aside. What is the actual situation? What is the level of knowledge on unmanned remotely operated vehicles?

The authors are well aware of the fact that they are unable to provide a reliable answer to thus formulated questions due to several reasons. First of all, because this would require a proper large scale investigation, and there are no such resources available. On the other hand, however, as academic teachers we had access to certain possibilities which enabled us to conduct at least a pilot survey study in a defined environment of people who will soon be faced with the technology of unmanned underwater vehicles. And this is exactly what we have managed to accomplish.

In the course of everyday teaching at the Mechanical-Electrical Department of the Polish Naval Academy of Gdynia and at the Department of Ship Construction, Mechanics and Transportation of the West-Pomeranian University of Technology of Szczecin a survey study was carried out, the results of which are

z ochotą prześlemy dotychczas zgromadzony materiał badawczy.

METODA

Badania przeprowadzono na grupie studentów dwóch wyższych uczelni technicznych, kobiet i mężczyzn (studia stacjonarne i niestacjonarne I i II stopnia), mających bezpośrednią lub pośrednią styczność z techniką morską, którzy w niedalekiej przyszłości najprawdopodobniej będą pracować w sektorze gospodarki morskiej.

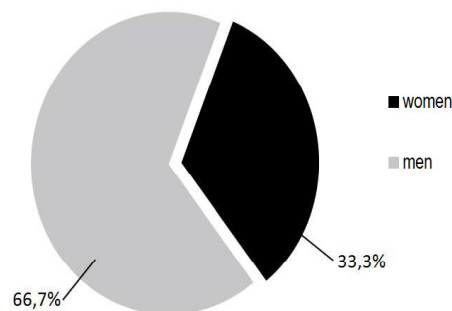
Podstawowym celem było zbadanie wiedzy ankietowanych w zakresie ogólnej znajomości historii i rozwoju oraz elementarnych zagadnień technicznych związanych ze zdalnie sterowanymi pojazdami podwodnymi (tzw. ROV). Ankieta była złożona z 27 pytań, na które należało odpowiedzieć na zasadzie testu jednokrotnego wyboru i które zawierały następujące zakresy tematyczne:

- 1) Dane osobowe, jak płeć, wiek i wykształcenie.
- 2) Indywidualny sposób pozyskiwania informacji w życiu codziennym, w tym technicznych, z różnych publikatorów jak prasa, periodyki popularnonaukowe i naukowe, telewizja.
- 3) Znajomość stosowanego słownictwa, związanego z pojazdami ROV.
- 4) Orientowanie się w podstawowych zagadnieniach technicznych i konstrukcyjno-użytkowych pojazdów ROV.
- 5) Obszar i zakres stosowania pojazdów podwodnych typu ROV na świecie.

Ankietowaniu zostało poddanych 61 studentów (28 kobiet i 33 mężczyzn), 28 ankiet zostało błędnie wypełnionych. Błędy polegały na przykład na udzieleniu więcej niż jednej odpowiedzi w konkretnym pytaniu lub braku odpowiedzi w ogóle.

Ostatecznie, po wstępnej selekcji i odrzuceniu błędnie wypełnionych ankiet, do dalszej analizy przyjęto 33ankiety z których 33% wypełniły kobiety, a 67% mężczyźni - Rys. 1. W przeważającej większości w ankiecie udział wzięły osoby w wieku od 20 do 30 lat z wykształceniem wyższym technicznym (absolwenci I stopnia podczas studiów II stopnia) - 27% ankietowanych. Około 15% biorących udział w ankiecie to osoby z wykształceniem średnim ogólnym.

A)



Rys. 1. Wyniki odpowiedzi na pytania związane z danymi osobowymi ankietowanych:
a) procentowy udział kobiet i mężczyzn w badaniach;

Fig. 1. Answers to questions regarding the personal data of the respondents:
a) the percentage share of men and women in the study;

presented below. Should the collected research material of this pilot study contribute to any further initiative to undertake more complex actions and induce a deeper scientific interest in the discussed field, we will gladly provide it on request.

METHOD

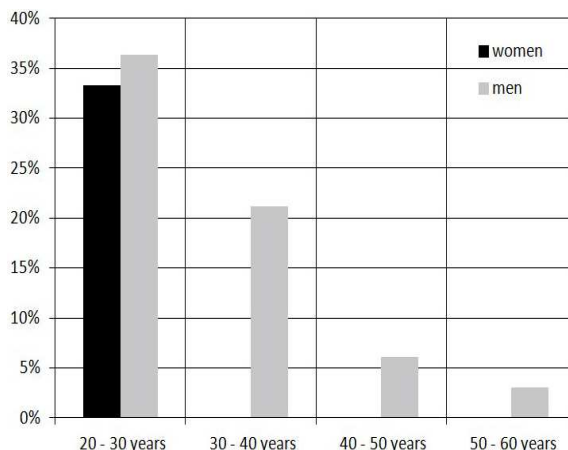
The study was conducted on a group of male and female students of two technological universities (full-time and part-time program-mes of the 1st and 2nd degree), with direct or indirect contact with marine technology, who in the near future are quite certain to work in the sector concerned with maritime affairs.

The primary objective was to verify the knowledge of the respondents with regards to the general history and development and elementary technical issues connected with remotely operated underwater vehicles (the so-called ROVs). The survey consisted of 27 questions in the form of a single-choice test, covering the following thematic areas:

- 1) Personal data such as sex, age and education.
- 2) Individual manner of obtaining information in everyday life, including technical information from various mass media, such as the press, popular science periodicals, scientific journals, television.
- 3) Knowledge within the nomenclature used in relation to ROVs.
- 4) Orientation within the basic technical and constructional and operational issues regarding ROVs.
- 5) Area and scope of ROV application in the world.

The study was participated by 61 students (28 women and 33 men), 28 questionnaires were filled incorrectly. The errors included provision of more than one answer to a particular question or a failure to provide an answer. In the end, after an initial selection and rejection of erroneously filled surveys, further analysis was carried out on 33 questionnaires, of which 33% were submitted by women, and 67% by men - Fig. 1. The majority of subjects were aged between 20-30 years, with higher technical education (1st degree graduates in the course of 2nd degree studies) - 27% of the respondents. Approximately 15% of the participants were persons with general upper-secondary education.

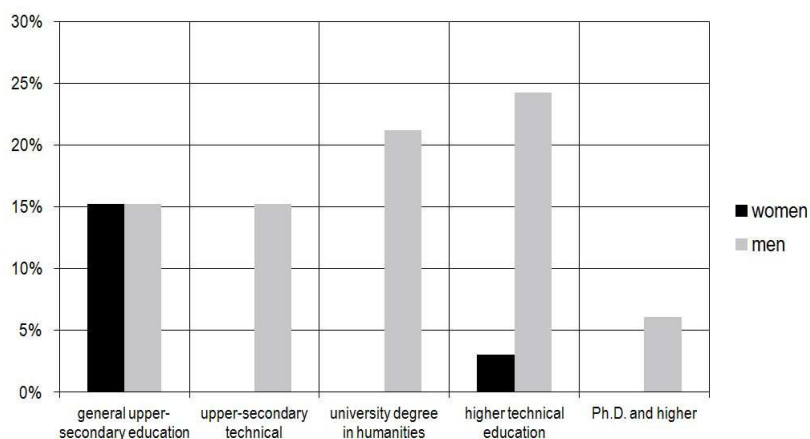
B)



Rys. 1. Wyniki odpowiedzi na pytania związane z danymi osobowymi ankietowanych:
b) procentowy udział mężczyzn i kobiet w poszczególnych grupach wiekowych;

Fig. 1. Answers to questions regarding the personal data of the respondents:
b) the percentage share of men and women in particular age groups;

C)



Rys. 1. Wyniki odpowiedzi na pytania związane z danymi osobowymi ankietowanych:
c) procentowy udział kobiet i mężczyzn w zależności od wykształcenia ankietowanych.

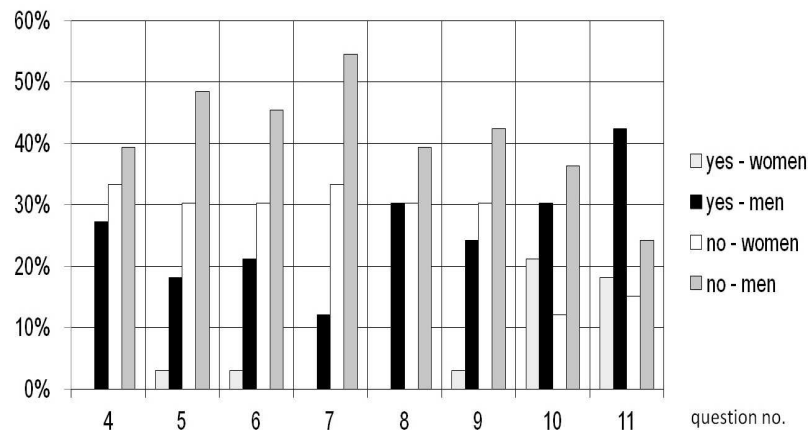
Fig. 1. Answers to questions regarding the personal data of the respondents:
c) the percentage share of men and women with regard to participants' education.

WYNIKI PILOTOWYCH BADAŃ ANKIETOWYCH

W zakresie pytań dotyczących źródeł pozyskiwania wiedzy, prym wśród badanych wiodą programy telewizyjne, przy czym w przypadku kobiet, w 18% przypadków są to programy popularnonaukowe (42% - mężczyźni). Dla 21% kobiet źródłem wiedzy jest telewizja w ogóle, pozostałe środki przekazu występują w śladowych ilościach. W przypadku mężczyzn, w 30% źródłem wiedzy są książki popularnonaukowe i naukowe (ok. 12%) - Rys. 2.

RESULTS OF THE PILOT SURVEY STUDY

In the matter regarding the sources of knowledge, the prevailing source among the respondents was television programmes, with regard to women 18% of cases involved popular science programmes (42% - men). For 21% of women the indicated source of knowledge was television in general, with remaining information media present in trace quantities. In the case of men, for 30% the signalled source of knowledge included popular science and scientific books (ca. 12%) - Fig. 2.



Rys. 2. Zestawienie odpowiedzi ankietowanych na pytania od nr 4 do nr 11, związane ze sposobem pozyskiwania ogólnie rozumianych informacji, gdzie : 4 – czytanie tygodników, 5 – czytanie dzienników, 6 – czytanie periodyków popularnonaukowych, 7 – czytanie periodyków naukowych, 8 – czytanie książek popularnonaukowych, 9 – czytanie książek naukowych, 10 – oglądanie programów telewizyjnych, 11 – oglądanie telewizyjnych programów popularnonaukowych.

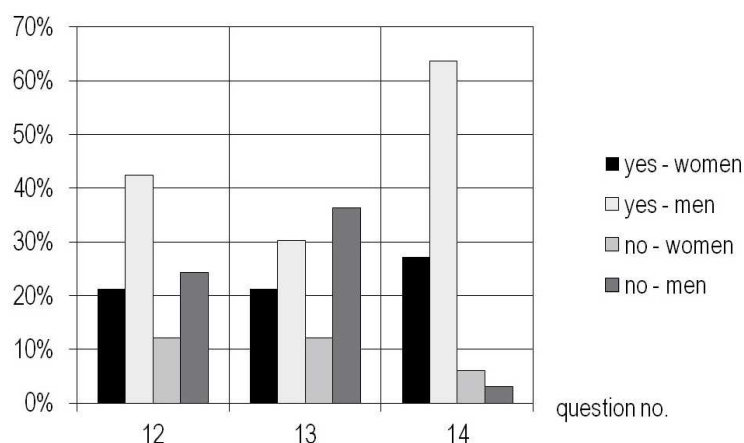
Fig. 2. The list of respondents' answers to questions 4 - 11 connected to obtaining information, where: 4 – reading weekly newspapers, 5 – reading journals, 6 – reading popular science periodicals, 7 – reading scientific periodicals, 8 – reading popular science books, 9 – reading scientific books, 10 – watching TV programmes, 11 – watching popular science TV programmes.

Analiza odpowiedzi ankietowanych wykazała, że ok. 21 % kobiet i ok. 42 % mężczyzn spotkało się z nazwą ROV, a prawie połowa mniej, bo ok. 12 % i 24 % nie miała takiej okazji – Rys. 3. Nie odbiegające znacznie wartości – 21 % i 30 % – wskazują, że zarówno kobiety jak i mężczyźni znali znaczenie skrótu ROV. Większa rozbieżność zaistniała pomiędzy grupami, przy odpowiedzi wskazującej na nieznaną przedmiotowego skrótu i wyniosła odpowiednio ok. 12 % i 36 %. Jeszcze większa rozbieżność zaszła przy kolejnym pytaniu o charakterze technicznym.

Kobiety w ok. 27 %, a mężczyźni w ok. 63 % wiedzieli, że ROV jest urządzeniem zanurzalnym. Nieliczna grupa osób o tym nie wiedziała.

The analysis of survey responses indicated that ca. 21% of women and ca. 42% of men were familiar with the term ROV, whereas almost half of such percentage values, i.e. ca. 12% and 24% respectively had not had an opportunity to become acquainted with the term – Fig. 3. Similar values of 21% and 30% indicate that both men and women knew the meaning of the ROV abbreviation.

A greater discrepancy between the researched groups was noted with respect to the answer regarding the lack of knowledge of the abbreviation and reached ca. 12% and 36% respectively. An even larger split was observed in relation to the next question of a more technical nature. Namely, ca. 27% of women and 63% of men were aware of the fact that an ROV was a submersible. Only a small group of persons did not have such knowledge.



Rys. 3. Zestawienie odpowiedzi ankietowanych na pytania nr 12 – 14, związane ze znajomością używanego skrótu ROV, gdzie : 12 – znajomość skrótu ROV, 13 – znaczenie skrótu ROV, 14 – zanurzalność urządzenia typu ROV.

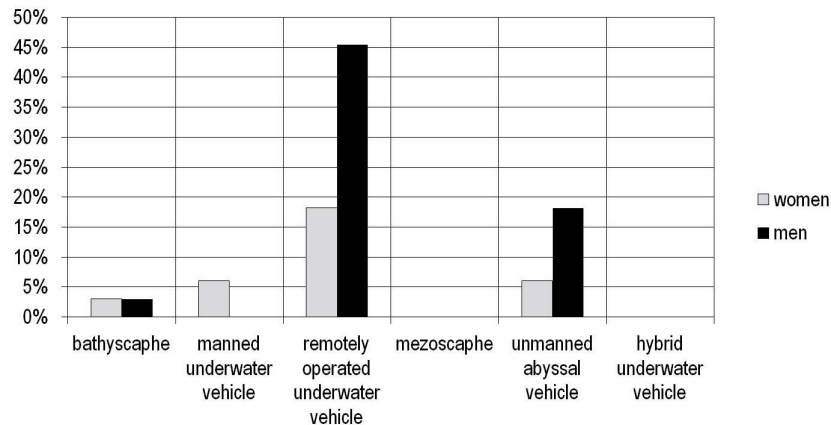
Fig. 3. The list of respondents' answers to questions 12 - 14 connected to the knowledge of the ROV abbreviation, where: 12 – knowledge of the ROV abbreviation, 13 – meaning of the ROV abbreviation, 14 – ROV submersibility.

W zestawieniu z pytaniami nr 12-14, pytanie nr 26 wskazuje, że spotkanie się z nazwą ROV oraz znajomością tego skrótu, nie jest jednoznaczne z faktyczną wiedzą ankietowanych co do rzeczywistego znaczenia tego określenia.

Niemal 18 % kobiet i 45,5 % mężczyzn odpowiedziało poprawnie – Rys. 4. Jednak pozostała część ankietowanych uznała ROV za inny typ pojazdu, w tym w obu grupach po 3 % za batyskaf, a ponad 5 % kobiet za załogowy pojazd podwodny.

In the context of question nos. 12-14, question 26 indicates that the fact of having encountered the abbreviation ROV and being familiar with what it stands for is not equivalent with the respondents' knowledge as to the actual meaning of this term.

Nearly 18% of women and 45.5% of men provided correct answers to these questions – Fig. 4. However, the remaining part of those surveyed were convinced that ROV stood for a different type of vehicle, with 3% in both these groups pointing to a bathyscaphe, and over 5% of females to a manned underwater vehicle.



Rys. 4. Rozumienie przez ankietowanych usytuowania pojazdów ROV w ogólnej klasyfikacji pojazdów podwodnych (pytanie nr 26).

Fig. 4. Respondents understanding of the location of ROVs in general classification of underwater vehicles (question no. 26).

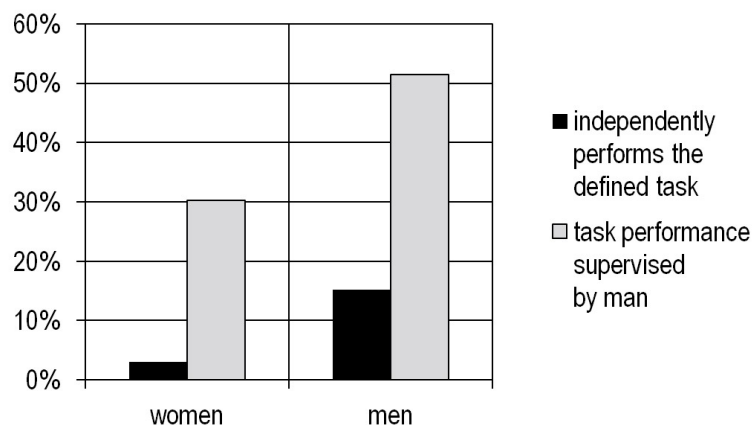
Kolejne odpowiedzi na pytania nr 15, nr 17, nr 27 i nr 20 wskazują, że ankietowani mężczyźni są bardziej zorientowani jak pojazd ROV wykonuje zadania, czym jest tego typu pojazd oraz w sposobach zarządzania nimi i ich wykorzystania.

Odpowiednio prawidłową odpowiedź wskazały: kobiety 30 % i mężczyźni 51 % – Rys. 5, następnie kobiety 24 % i mężczyźni 61 % – Rys. 6, kobiety 24 % i mężczyźni 67 % – Rys. 7 oraz kobiety 33 % i mężczyźni 51 % – Rys. 8. Pozostałe błędne odpowiedzi, dla obu grup, zawierały się w granicach 9 – 19 %.

The answers to questions no. 15, 17, 20 and 27 reveal that the surveyed men were more informed on how an ROV performs its tasks, what type of vehicle it was as well as its operation and use.

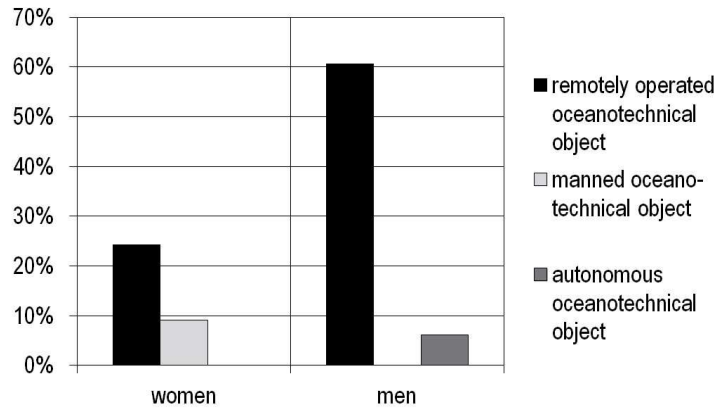
The respective correct answers were provided by: women 30% and men 51% – Fig. 5, women 24% and men 61% – Fig. 6, women 24% and men 67% – Fig. 7 and women 33% and men 51% – Fig. 8.

The remaining incorrect answers of both groups were within the range between 9 – 19%.



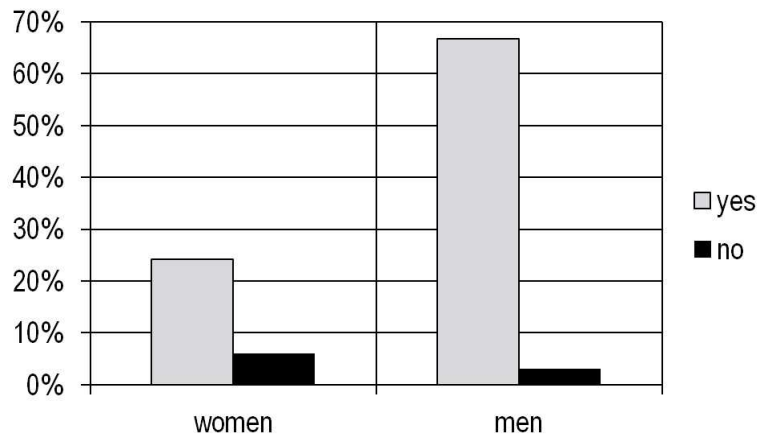
Rys. 5. Rozumienie przez ankietowanych rodzaju wykonywanych zadań przez pojazdy typu ROV (pytanie nr 15).

Fig. 5. Respondents understanding of the type of tasks performed by ROVs (question no. 15).



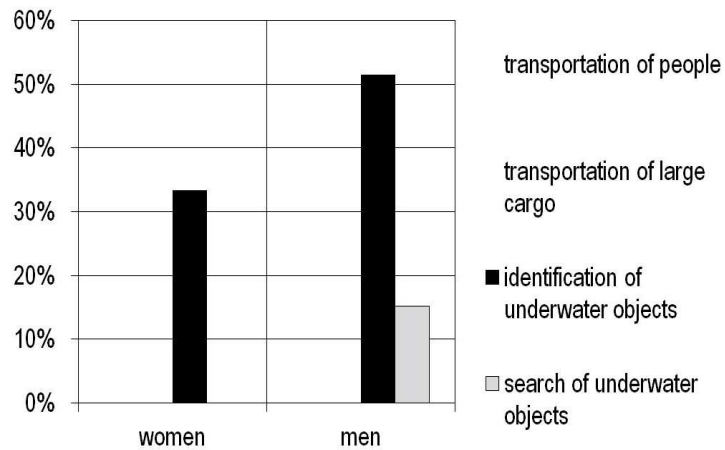
Rys. 6. Rozumienie przez ankietowanych jakim typem pojazdu jest pojazd ROV.

Fig. 6. Respondents understanding of what type of vehicle an ROV stands for.



Rys. 7. Rozumienie przez ankietowanych sposobu zarządzania pojazdami typu ROV (pytanie nr 27).

Fig. 7. Respondents understanding of ROV operation (question no. 27).



Rys. 8. Znajomość sposobu wykorzystania pojazdów typu ROV przez ankietowanych (pytanie nr 20).

Fig. 8. Respondents knowledge of ROV application (question no. 20).

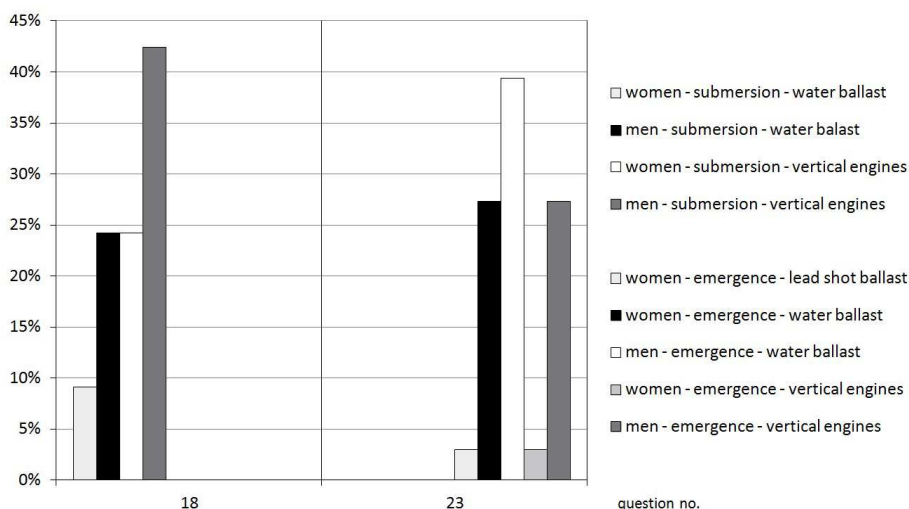
Pytania: nr 18, nr 19, nr 22 i nr 23 odzwierciedlały podstawowe zagadnienia techniczne, związane z użytkowymi własnościami pojazdów typu ROV.

Poszczególne rysunki wskazują, że mężczyźni lepiej byli zorientowani w przedmiotowych rozwiązaniach technicznych. Odpowiednio do kolejności pytań prawidłową odpowiedź udzieliło : nr 18 – 24 % kobiet i 42 % mężczyzn – Rys. 9, nr 19 – 21 % kobiet i 39 % mężczyzn – Rys. 10, nr 22 – 21 % kobiet i 58 % mężczyzn – Rys. 11 oraz nr 23 – 3 % kobiet i 27 % mężczyzn – Rys. 9.

Należy stwierdzić, że znajomość zagadnień techniczno-ruchowych, związanych z pojazdami ROV, były ogólnie na przeciętnym poziomie.

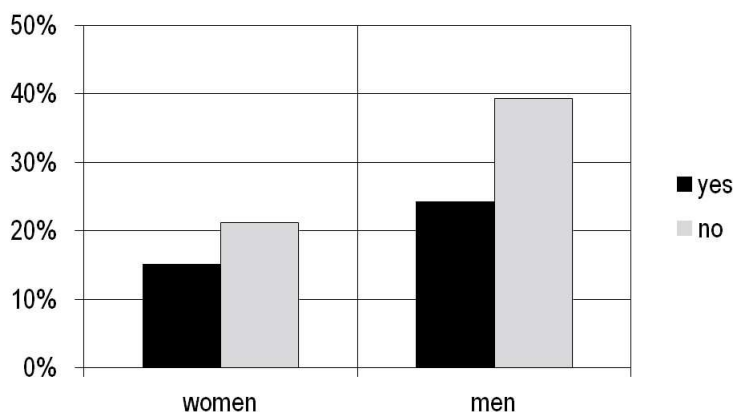
Questions: 18, 19, 22 and 23 reflected the basic technical issues related to ROV usage properties. Particular figures show that men’s knowledge concerned with the technical standards of the vehicle is broader.

The correct answers to the above questions were submitted respectively by: no. 18 – 24% of women and 42% of men – Fig. 9, no. 19 – 21% of women and 39% of men – Fig. 10, no. 22 – 21 % of women and 58% of men – Fig. 11 and no. 23 – 3% of women and 27% of men – Fig. 9. It should be noted that the knowledge of technical-operational issues regarding ROVs was generally at an average level.



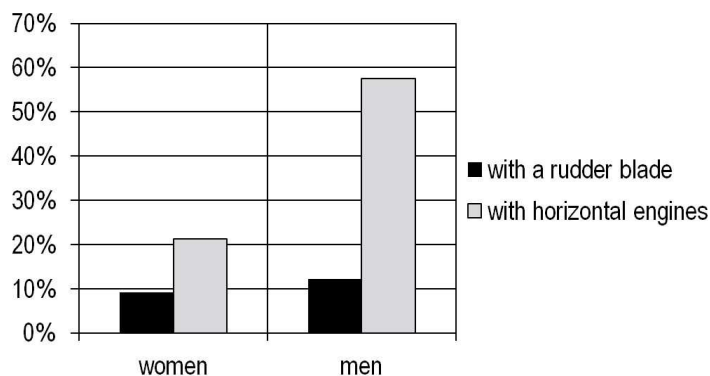
Rys. 9. Zestawienie odpowiedzi ankietowanych na pytanie nr 18 i nr 23, związane ze sposobem zanurzania oraz wynurzenia się pojazdów typu ROV, gdzie : 18 – mechanizm zanurzania ROV, 23 – mechanizm wynurzenia ROV.

Fig. 9. The list of respondents' answer to questions 18 and 23 connected with ROV submersion and emergence, where: 18 – ROV submersion mechanism, 23 – ROV emergence mechanism.



Rys. 10. Orientacja ankietowanych w różnicy prędkości pomiędzy ruchem pionowym a poziomym pojazdu ROV (pytanie nr 19).

Fig. 10. Respondents' knowledge of speed differences in the vertical and horizontal movement of an ROV (question no. 19).



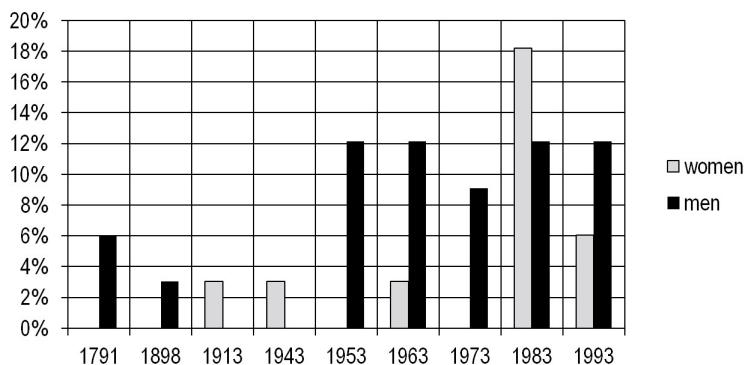
Rys. 11. Znajomość przez ankietowanych sposobu manewrowania pojazdem ROV pod wodą (pytanie nr 22).

Fig. 11. Respondents knowledge of ROV manoeuvring under water (question no. 22).

Najmniej trafnie ankietowani określili rok powstania idei i konstrukcji przedmiotowych pojazdów podwodnych. Jedynie 3 % mężczyzn – Rys. 12 – wskazało prawidłowo 1898 r., jako rok budowy pierwszego pojazdu. Zdecydowana większość, ten historyczny fakt, umiejscowiła w latach drugiej połowy XX wieku.

The respondents were equally accurate in specifying the year of establishment of the concept and construction of underwater vehicles. Only 3% of men – Fig. 12 – indicated the year 1898 as the year of construction of the first ROV.

The vast majority placed this historical fact in the second half of the 20th century.



Rys. 12. Określenie roku budowy pierwszego pojazdu typu ROV (pytanie nr 16).

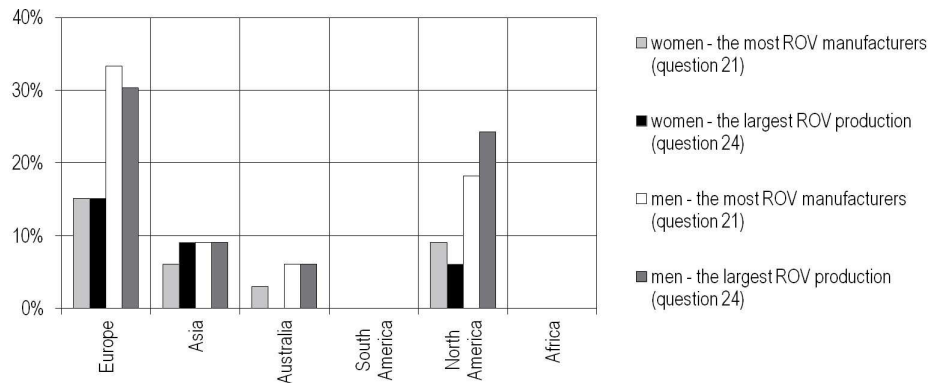
Fig. 12. Specification of the year of construction of the first ROV (question no. 16).

Analiza rynku wskazuje, że największa liczba producentów przedmiotowych pojazdów, rozmieszczona jest na terenie Europy.

Natomiast większość ich produkcji, odbywa się na terenie Ameryki Północnej. Odpowiednio ankietowani dostrzegli te fakty – Rys. 13 : 15 % kobiet i 33 % mężczyzn oraz 6 % kobiet i 24 % mężczyzn.

According to market analysis, the greatest number of ROV manufacturers come from Europe. However, the majority of the production takes place in North America.

The respective percentages of respondents were familiar with these facts – Fig. 13: 15% of women and 33% of men, and 6% of women and 24% of men.



Rys. 13. Zestawienie odpowiedzi ankietowanych na pytania : nr 21 i nr 24, gdzie 21 – lokalizacja największej ilości producentów ROV, 24 – lokalizacja największej produkcji ROV.

Fig. 13. The list of respondents' answers to questions: no. 21 and 24, where 21 – location of the greatest number of ROV manufacturers, 24 – location of the largest ROV production.

WNIOSKI

Wyniki pokazują wyraźnie, że znajomość zagadnień związanych z bezzałogowymi pojazdami podwodnymi jest ogólnie mała. Jako usprawiedliwienie dla ankietowanych należy stwierdzić, że nie są to zagadnienia znajdujące się w głównym nurcie treści programowych wykładanych na obydwu uczelniach.

Ponadto, jako jedno z podstawowych źródeł pozyskiwania informacji ankietowani wskazali telewizję, a tam trudno znaleźć rzetelne informacje w przedmiotowym temacie.

Oczywiście badania te wykonano na nie reprezentatywnej próbie i trudno jest je przetransponować na obraz całej populacji. To wymagało by o wiele szerszego zakresu działań.

Prezentowane tu wyniki należy traktować jedynie jako wstępne i pilotażowe. Obecnie można jednak stwierdzić, że aktualny stan wiedzy na temat bezzałogowców skłania do przemyślenia i podjęcia szerszych działań edukacyjnych w tym zakresie. Tym bardziej, że prognozy rozwoju nie tylko technologii prac podwodnych pokazują wyraźnie na wzrost znaczenia tej technologii.

CONCLUSIONS

The results clearly show that the knowledge of matters related to unmanned underwater vehicles is generally small. This could be justified by the fact that such issues are not generally included in the main curricula of either of the academic institutions participated by the respondents.

Moreover, the subjects tended to indicate television as one of the main sources of information, where reliable reports on the discussed subject matter are scarce. Of course the study was carried out on a non-representative sample, thus it is difficult to have it transposed onto the entire population. This would require a much broader scope of activities.

The presented results are to be treated only as preliminary. Nonetheless, it is possible to conclude that the current state of knowledge on unmanned vehicles encourages the undertaking of broader educational activities in this area, especially given the fact that the prognostics concerned with the development of underwater and other works technologies indicate a significant increase of their meaning in the future.

dr inż. Zbigniew Tałaśka

Zakład Technologii Prac Podwodnych
Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte
81 - 103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69
e-mail: z.talaśka@amw.gdynia.pl

THE EVALUATION OF THE RISK OF DECOMPRESSION SICKNESS IN DIVERS

OCENA ZAGROŻENIA CHOROBA DEKOMPRESYJNĄ U NURKÓW

ОЦЕНКА РИСКА ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БОЛЕЗНИ У ВОДОЛАЗОВ

Romuald Olszański¹⁾, Piotr Radziwon²⁾, Jolanta Korsak³⁾, Piotr Siermontowski¹⁾, Mariusz Kozakiewicz⁴⁾

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

1) Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej, Wojskowy Instytut Medyczny, Gdynia

2) Regional Centre for Transfusion Medicine, Military Institute of Medicine, Warsaw, Poland

2) Zakład Transfuzjologii Klinicznej, Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa

3) Regional Blood Center in Białystok, Poland

3) Regionalne Centrum Krwiodawstwa i Krwiolecznictwa w Białymstoku

4) Department and Clinic of Chemistry of Foodstuffs, Nicolaus Copernicus University Collegium Medicum, Bydgoszcz, Poland

4) Katedra i Zakład Chemii Środków Spożywczych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika Collegium Medicum w Bydgoszczy

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Gas bubbles occurring during the process of decompression create a non-physiological surface which comes into contact with blood platelets and coagulation proteins. The result is activation of blood platelets and contact factors. Accordingly, over 30 years ago Polish researchers began to verify the safety of decompression tables through the evaluation of changes of haemostasis and fibrinolysis.

Key words: safety evaluation of decompression tables, decompression sickness, haemostasis and fibrinolysis in risk assessment of decompression sickness.

Powstające podczas dekompresji pęcherzyki gazowe stanowią нефизиологическую powierzchnię, z którą wchodzi w kontakt płytki krwi i białka układu krzepnięcia. Skutkiem tego, jest aktywacja płytek krwi oraz czynników kontaktu. Wychodząc z tego założenia, od ponad 30 lat rozpoczęto w Polsce weryfikowanie bezpieczeństwa tabel dekompresyjnych, za pomocą oceny zmian hemostazy i fibrynolizy.

Słowa kluczowe: ocena bezpieczeństwa tabel dekompresyjnych, choroba dekompresyjna, hemostaza i fibrynoliza w ocenie zagrożenia chorobą dekompresyjną.

Полученные пузырьки газа во время декомпрессии образуют нефизиологическую поверхность, с которой вступают в контакт тромбоциты и коагулирующие белки. В результате этого происходит активация тромбоцитов и факторов контакта. Исходя из этого допущения, уже в течение более 30 лет в Польше началась проверка безопасности декомпрессионных таблиц, используя оценку изменений гемостаза и фибринолиза.

Ключевые слова: оценка безопасности декомпрессионных таблиц, декомпрессионная болезнь, гемостаз и фибринолиз в оценке риска декомпрессионной болезни.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 45 - 52

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.4](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.47.4)

Pages: 8, figures: 0, tables: 0.

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Review article

Termin nadesłania: 12.03.2014 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 20.04.2014 r.

WSTĘP

W 1878 roku Paul Bert opracował pierwsze zasady dekompresji [1]. Jednak do dnia dzisiejszego, nie opracowano tabel dekompresyjnych, które by w pełni gwarantowały bezpieczeństwo nurkom.

W czasie trwania dekompresji, jak i po jej zakończeniu, we krwi nurków może występować tolerowana przez organizm pewna ilość bezobjawowych pęcherzyków gazowych. Zwykle nie dają objawów patologicznych, ale po przekroczeniu wielkości średnicy naczyń włosowatych, powodują mikrozatory gazowe, co prowadzi do rozwinięcia lokalnej hipoksji.

Najdłużej znanym i najpowszechniej stosowanym kryterium oceny zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków jest brak objawów „bends”. Innym kryterium oceny są badania dopplerowskie na obecność mikropęcherzyków u nurków. Obecnie uważa się, że mikropęcherzyki gazowe mogą powstać u nurków po prawie każdej ekspozycji, mimo przestrzegania tabel dekompresyjnych. Dowodem na to, że badanie dopplerowskie i brak objawów bends nie są wystarczające dla oceny bezpiecznej dekompresji u nurków, jest występowanie w późniejszym okresie jałowej martwicy kości.

Takim nowym kryterium do oceny zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków, a także do oceny bezpieczeństwa tabel dekompresyjnych, mogą być zmiany krzepnięcia krwi i fibrynolizy występujące w czasie i po dekompresji. Wychodząc z tego założenia, od ponad 30 lat rozpoczęto w Polsce weryfikowanie bezpieczeństwa tabel dekompresyjnych, za pomocą oceny zmian hemostazy. Powstające podczas dekompresji pęcherzyki gazowe stanowią нефизиologiczną powierzchnię, z którą wchodzi w kontakt płytki krwi i białka układu krzepnięcia. Skutkiem tego jest aktywacja płytek krwi oraz czynników kontaktu. Wystąpienie niektórych objawów choroby dekompresyjnej może być spowodowane przełamaniem bariery osoczowych inhibitorów krzepnięcia i pojawieniem się mikrozatorów.

„Poszukiwania” nowych dokładniejszych metod oceniających stopień zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków - za granicą rozpoczęły się dopiero przed kilkoma laty. Najwięcej cytowań dotyczących polskiej metody oceny bezpieczeństwa tabel dekompresyjnych za pomocą zmian w układzie krzepnięcia i fibrynolizy, pojawiło się w piśmiennictwie zagranicznym, dopiero z ostatnich pięciu lat, zaś nasze artykuły są cytowane po kilku, a nawet kilkunastu latach od ich publikacji np.:

- artykuł [2] z 1990 *Effect of nitrox saturations upon platelet haemostasis* Bull. Inst. Mar. Trop. Med. 41, 1-4 jest cytowany dwukrotnie 2008 (Pontier 2008, 2008), a więc po 18 latach od opublikowania [3, 4];

- artykuł [5] z 2000 *The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry*. Aviat. Space Environ. Med. 71: 925-8 jest cytowany sześciokrotnie: Bosco i wsp. 2001[6], Pontier i wsp. 2008 [3, 4], Kernagis i wsp. 2009 [7], Moon 2009 [8], Bosco i wsp. 2010 [9].

- artykuł [10] z 2001 *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving*. Blood Coagulation and Fibrinolysis 12, 1- 6 jest cytowany sześciokrotnie: Poff i wsp. 2007 [11], Hibbs i wsp. 2007 [12], Pontier i wsp. 2008 [3, 4], Pontier i wsp. 2009 [13], Monaca i wsp. 2014 [14].

INTRODUCTION

In 1878 Paul Bert worked out the first guidelines regarding the process of decompression [1]. However, even to this day, no decompression tables have been prepared to ensure full certainty regarding divers' safety.

During the process of decompression as well as after its completion, a certain quantity of tolerated symptomless gas bubbles may occur in divers' blood. They do not usually involve pathological symptoms, however after their diameter exceeds that of capillary vessels they cause the production of microemboli, which leads to the development of local hypoxia.

The best known and the most commonly applied criterion of assessing the threat of occurrence of decompression in divers is the lack of symptoms of "the bends". Another assessment criterion consists of Doppler examinations aimed at the detection of microbubbles in divers. It is currently believed that gas microbubbles may be produced in divers after nearly each exposure despite the observance of decompression tables. The occurrence of avascular necrosis in later periods of life is evidence that the Doppler examination and the lack of any symptoms of the bends immediately after diving are insufficient for evaluating the safety of decompression carried out by divers.

A new criterion in assessing the risk of decompression sickness in divers, as well as the safety of decompression tables, may consist in changes in blood coagulation and fibrinolysis appearing during and after decompression. Accordingly, over 30 years ago Polish researchers began to verify the safety of decompression tables through the evaluation of changes in the haemostasis. Gas bubbles occurring during the process of decompression create a non-physiological surface which comes into contact with blood platelets and coagulation proteins. The result is activation of blood platelets and contact factors. The occurrence of certain symptoms of decompression sickness may be caused by the breaking of the barrier of plasma coagulation inhibitors and the occurrence of microemboli.

The "search" for new and more accurate methods of establishing the risk of a decompression incident in divers was commenced abroad only a few years ago. The majority of citations concerned with the Polish method of evaluation of the safety of decompression tables with regard to changes in the coagulation system and fibrinolysis have only begun to appear in foreign literature within the last five years, even though the articles are quoted in some instances as much as ten years after their publication, e.g.:

-article [2] of 1990 *Effect of nitrox saturations upon platelet haemostasis* Bull. Inst. Mar. Trop. Med. 41, 1-4 is quoted twice 2008 (Pontier 2008, 2008), i.e. 18 years after its publication [3, 4].

-article [5] of 2000 *The effect of air and nitrox diving on platelet activation tested by flow cytometry*. Aviat. Space Environ. Med. 71: 925-8 is quoted six times: Bosco and others 2001[6], Pontier and others 2008 [3, 4], Kernagis and others 2009 [7], Moon 2009 [8], Bosco and others 2010 [9].

-article (10) of 2001 *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving*. Blood Coagulation and Fibrinolysis 12, 1- 6 is quoted on six occasions: Poff and others 2007 [11], Hibbs and others

Badania weryfikacji tabel i oceny zagrożenia nurków chorobą dekompresyjną, za pomocą wybranych parametrów hemostazy i fibrynolizy zostały przedstawione na konferencjach międzynarodowych, z zakresu medycyny hiperbarycznej (EUBS – European Undersea Biomedical Society):

– *Plateletal haemostasis - hyperbaric air exposures* [w:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (red. Reinertsen R., Brubakk A., Bolstad G.) 1993, 163- 168 [15].

– *Evaluation of decompression sickness risk in saturated air and nitrox dives judged on the basis of changes in haemostasis* [w:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (red. Mekjavic B., Tipton M., Eiken O.) 1997, 91-95 [16].

– *Effect of air and trimix diving on selected parameters of haemostasis* [w:] *High Pressure Biology and Medicine* (red. Bennett P., Demchenko I., Marquis R.) University of Rochester Press USA, 1998, 234-236 [17].

– *Flow cytometric testing of blood platelets activation in air diving* [w:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (red. Genner M.) 1998, 113-116 [18].

Ocena zagrożenia chorobą dekompresyjną na podstawie wybranych parametrów hemostazy, była prezentowana w dwóch angielskojęzycznych książkach zagranicznych, wydanych pod redakcją najwybitniejszych naukowców z medycyny podwodnej: P. Bennett i współpracownicy 1998 *High Pressure Biology and Medicine* (University of Rochester Press [17] oraz H. Ludwig *Advances in high pressure bioscience and biotechnology* 1999 Springer [19] oraz w książce pt. *Ocena zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków* 2006 Wojskowy Instytut Medyczny [20].

Stopień aktywacji płytek krwi po nurkowaniach, oceniano za pomocą cytometrii przepływowej. Metodą tą ustalono odsetek mikroplatełek, płytek tworzących agregaty oraz wielkość ekspresji cząstek powierzchniowych, zaangażowanych w procesie adhezji, agregacji i reakcji uwalniania. Po nurkowaniach - szczególnie powietrznych - zaobserwowano wzrost odsetka mikroplatełek i nasilenie ekspresji molekuł powierzchniowych, głównie CD 61 i CD62P.

Wyniki badań przedstawiono w następujących publikacjach: *Flow cytometric testing of blood platelet activation in diving* [w:] *Advances in high pressure bioscience and biotechnology* (red. H. Ludwig), Springer-Verlag 1999, 565-569 [19], Aviation Space and Environmental Medicine (2000) *The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry*. 71: 925-8 [5], *Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives*. Aviation Space and Environmental Medicine 2010, 81, 6: 585-588 [21].

Uzyskane wyniki potwierdzają aktywację płytek krwi u nurków, poddanych powietrznym ekspozycjom saturowanym i operacyjnym nurkowaniom heliokсовym w Morzu Bałtyckim. Szczególnie silną aktywację krwinek płytkowych, stwierdzoną na podstawie wzrostu odsetka krwinek płytkowych, przejawiających obecność cząsteczki PADGEM (*platelet activation-dependent granule-external membrane protein*), oraz wzrostu odsetka mikroplatełek i agregatów płytkowych, obserwowano po symulowanych nurkowaniach powietrznych.

Mniejszą aktywację krwinek płytkowych w symulowanych nurkowaniach nitroksowych i heliokсовych, pomimo ekspozycji nurków na wyższe ciśnienia, należy tłumaczyć właściwą dekompresją nieprowadzącą do powstawania mikropęcherzyków.

W badaniach opublikowanych w roku 2010

2007 [12]], Pontier and others 2008 [3, 4], Pontier and others 2009 [13], Monaca and others 2014 [14].

Studies on the verification of tables and the assessment of the risk of decompression sickness in divers with the use of selected parameters of haemostasis and fibrinolysis were presented in international on hyperbaric medicine (EUBS – European Undersea Biomedical Society):

– *Plateletal haemostasis - hyperbaric air exposures* [in:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (ed. Reinertsen R., Brubakk A., Bolstad G.) 1993, 163- 168 [15].

– *Evaluation of decompression sickness risk in saturated air and nitrox dives judged on the basis of changes in haemostasis* [in:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (ed. Mekjavic B., Tipton M., Eiken O.) 1997, 91-95 [16].

– *Effect of air and trimix diving on selected parameters of haemostasis* [in:] *High Pressure Biology and Medicine* (ed. Bennett P., Demchenko I., Marquis R.) University of Rochester Press USA, 1998, 234-236 [17].

– *Flow cytometric testing of blood platelets activation in air diving* [in:] EUBS on diving and hyperbaric medicine (ed. Genner M.) 1998, 113-116 [18].

The evaluation of a risk of decompression sickness based on selected haemostasis parameters was presented in two foreign books published in English by the most prominent scientists in underwater medicine: P. Bennett and others 1998 *High Pressure Biology and Medicine* (University of Rochester Press [17] and H. Ludwig *Advances in high pressure bioscience and biotechnology* 1999 Springer [19], as well as in the book entitled *Decompression sickness risk assessment in divers* 2006 Military Institute of Medicine [20].

The level of activation of blood platelets after dives was estimated with the use of flow cytometry. This method allowed the establishment of the proportion of microplatelets and the size of expression of surface molecules engaged in the process of adhesion, aggregation and releasing reaction. After dives – in particular air dives – an increase in the quantity of microplatelets and an intensification of expression of surface molecules, mainly CD61 and CD62P, was observed.

The results of the above research were presented in the following publications: *Flow cytometric testing of blood platelet activation in diving* [in:] *Advances in high pressure bioscience and biotechnology* (ed. H. Ludwig), Springer-Verlag 1999, 565-569 [19], Aviation Space and Environmental Medicine (2000) *The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry*. 71: 925-8 [5], *Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives*. Aviation Space and Environmental Medicine 2010, 81, 6: 585-588 [21].

The obtained results confirm activation of blood platelets in divers subjected to saturated air exposures and operational heliox dives in the Baltic Sea. Particularly strong activation of blood platelets, determined on the basis of an increase in the proportion of blood platelets, indicating the presence of PADGEM molecule (*platelet activation-dependent granule-external membrane protein*), and a growth in the percentage of microplatelets and platelet aggregate, was observed after simulated air dives.

A lesser activation of blood platelets in simulated nitrox and heliox dives, despite divers' exposure to higher pressures, is to be explained with properly conducted decompression not leading to the emergence of microbubbles. The research published in 2010 *Advances in Medical Sciences Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis*

Advances in Medical Sciences *Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis* [22] wykazano, że zastosowanie trimixu w porównaniu do powietrza, w nurkowaniach na głębokość 60 m, nie powoduje spadku liczby płytek krwi i znacznie ogranicza ich aktywację, spowodowaną nurkowaniem i dekompresją.

Wykonane badania nie wykazały wzrostu stężenia d-dimerów, kompleksów trombina-antytrombina, fragmentów protrombiny 1+2. Po raz pierwszy jednak, badania wykazały zwiększone zużycie czynnika XII oraz wzrost kompleksów plazmina- antyplazmina, co może sugerować wpływ nurkowania na aktywację fibrynolizy (Blood Coagul Fibrin 2001 *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving* 12, 1- 6 [10]. Doniesienia kliniczne o przypadkach krwotoków do oka, mózgu i rdzenia kręgowego, wskazują na potrzebę wyjaśnienia przyczyn powikłań krwotocznych, występujących po nurkowaniach.

Dalsze badania przeprowadzone nad szczegółową oceną układu fibrynolizy wykazały, że u zdrowych osób, poddanych hiperbarycznym ekspozycjom, z następującą po nich dekompre-sją, statystycznie, istotnie obniża się stężenie i aktywność inhibitora tkankowego aktywatora plazminogenu-1 (PAI-1) oraz stężenie 2-antypłazminy, ale nie zmienia się stężenie i aktywność t-PA i nie zmienia się również stężenie inhibitora fibrynolizy, aktywowanego przez trombinę (TAFI) oraz jego proenzymu (Blood Coagul Fibrin 2003 *Diving up to 60 m depth followed by decompression has no effect on proenzyme and total thrombin activatable fibrinolysis inhibitor antigen concentration* 14, 1-3 [23]. Stwierdzone zmiany liczby płytek krwi oraz poziomu PAI-1, wydają się być czulszym niż badanie mikropęcherzyków metodą Dopplera, wskaźnikiem zmian zachodzących u osób poddawanych hiperbarii i dekompresji.

W związku z tym, budzi to duże nadzieje wykorzystania oznaczeń tych parametrów w ocenie ryzyka wystąpienia choroby dekompresyjnej u nurków oraz ustalania bezpiecznych warunków przeprowadzania nurkowań i dekompresji (Polish J Environ Stud 2006 PAP, *PAI-1, platelet count – promising safety parameters of diving* 15, 4B: 130-133 [24]. Ponadto, najnowsze pilotażowe badania wskazują, iż ekspozycje hiperbaryczne i dekompresja powodują statystycznie istotne zmiany stężeń we krwi wielu związków chemicznych, w tym metabolitów witaminy D, fosfolipidów, barwników żółciowych.

Dalsze badania są wskazane, by określić znaczenie zaobserwowanych zmian dla zdrowia nurków i ewentualnie wykorzystać dla oceny bezpieczeństwa nurkowania (J Proteom Res *Metabolomic Approach with LC-MS Reveals Significant Effect of Pressure on Diver's Plasma* 2010, 9 (8): 4131-4137 [25].

Zastosowanie metody hemostazy nie uwzględnianej dotychczas w ocenie tabel nurkowych w świecie, umożliwi interpretację zjawisk zachodzących podczas dekompresji i może być podstawowym elementem określającym stopień zagrożenia chorobą dekompresyjną. Ocena zagrożenia chorobą dekompresyjną na podstawie wybranych parametrów hemostazy, była prezentowana w licznych czasopiśmiech:

- *Effect of nitrox saturations upon platelet haemostasis Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1990, 41, 1-4* [2];

- *Evaluation of the risk of decompression sickness in saturated nitrox diving by examination of haemostasis*

[22] revealed that using trimix as opposed to air in diving up to 60 m had no effect on a decrease in the quantity of blood platelets and significantly limited their activation induced by diving and decompression

The executed studies did not indicate an increase in the concentration of d-dimers, thrombin-antithrombin complexes, fragments of prothrombin 1+2. For the first time, however, the research showed an increased consumption of factor XII and a growth in plasmin-antiplasmin complex, which may suggest the effect of diving on the activation of fibrinolysis (Blood Coagul Fibrin 2001 *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving* 12, 1- 6 [10]. Clinical reports on the cases of haemorrhages into the eye, brain and spinal cord indicate the necessity to explain the reasons for post-haemorrhagic events occurring after diving.

Further studies, conducted with the objective of preparing a detailed evaluation of fibrinolysis, showed that healthy persons subjected to hyperbaric exposures followed by decompression had statistically significant decreases in the concentration and activity of the inhibitor of tissue plasminogen activator (PAI-1) and the concentration of 2-antiplasmin. However, the research also showed a lack of change in the concentration and activity of t-PA as well as the concentration of thrombin activatable fibrinolysis inhibitor (TAFI) and its proenzyme (Blood Coagul Fibrin 2003 *Diving up to 60 m depth followed by decompression has no effect on proenzyme and total thrombin activatable fibrinolysis inhibitor antigen concentration* 14, 1-3) [23].

The detected changes in the number of blood platelets and PAI-1 level seem to be more a sensitive indicator of changes occurring in people subjected to hyperbaric oxygenation and decompression as compared with Doppler microbubble examination. For these reasons the determination of these parameters raises high expectations with regard to disease occurrence risk assessment in divers and specification of safe conditions for diving and decompression (Polish J Environ Stud 2006 PAP, *PAI-1, platelet count – promising safety parameters of diving* 15, 4B: 130-133) (24).

Moreover, the most recent pilot studies indicate that hyperbaric exposures and decompression cause statistically significant changes in the concentrations of numerous chemical compounds in the blood, including vitamin D metabolites, phospholipids and bile pigments. Further research is recommended with the purpose of defining the importance of the observed changes in relation to divers' health and possibly to apply them in the evaluation of diving safety (J Proteom Res *Metabolomic Approach with LC-MS Reveals Significant Effect of Pressure on Diver's Plasma* 2010, 9 (8): 4131-4137) [25].

The application of the haemostasis method, thus far not considered in the assessment of diving tables around the world, enables interpretation of phenomena taking place during decompression and may constitute a primary element in the determination of the hazard of decompression sickness.

The evaluation of the risk of decompression sickness on the basis of selected haemostasis parameters was presented in numerous magazines:

- *Effect of nitrox saturations upon platelet haemostasis Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1990, 41, 1-4* [2];

- *Evaluation of the risk of decompression sickness in saturated nitrox diving by examination of haemostasis*

Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1995, 46, 1/4, 27-30 [26];

- *Effect of saturated air and nitrox diving on selected parameters of haemostasis* Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1997, 48, 1/4, 75-82 [27];

- *Evaluation of heliox saturated diving on the basis of selected haemostatic parameters* Bull. Inst. Marit. Trop. Med., 1998, 49, 1/4, 117-121 [28];

- *The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry* Aviat. Space Environ. Med. 2000, 71: 925-8 [5];

- *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving* Blood Coagulation and Fibrinolysis, 2001, 12, 1-6 [10];

- *Diving up to 60 m depth followed by decompression has no effect on proenzyme and total thrombin activatable fibrinolysis inhibitor antigen concentration*. Blood Coagulation and Fibrinolysis, 2003, 14, 1-3 [23];

- *Assessment of diving risks - based on selected haemostatic parameters* Actual Problems of Transport Medicine, 2005, 1: 80-83 [29];

- *The use of heliox instead of air diminishes the effect of hyperbaric expositions and decompression on blood platelets but not on leukocytes* Polish Journal of Environmental Studies, 2005, 14, 1: 95-98 [30];

- *PAP, PAI-1, platelet count - promising safety parameters of diving* Polish Journal of Environmental Studies, 2006, 15, 4B: 130-133 [24];

- *Decreased levels of PAI-1 and alpha2-antiplasmin contribute to enhanced fibrinolytic activity in divers* Thrombosis Res., 2007 121 [2] : 235-240 [31];

- *Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives*. Aviation, Space and Environmental Medicine, 2010, 81, 6: 585-588 [21]

- *Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis* Advances in Medical Sciences 2010 [22];

- *Ocena wpływu hiperbarii na wybrane parametry fibrynolizy u nurków* Polish Hyperbaric Research, 2011, 4, [33], 63-70 [32];

- *Fizjologiczne i biochemiczne uwarunkowania hemostazy w hiperbarii powietrznej* 2011 [33];

- *Wybrane problemy medycyny morskiej i nurkowej* 2013 [34].

Środowisko hiperbaryczne także nie jest neutralne dla układu antyoksydacyjnego. Nurkowania przeprowadzane zgodnie z obowiązującymi standardami bezpieczeństwa, powodują zwiększoną generację reaktywnych form tlenowych, o czym świadczy wzrost oznaczonych enzymów antyoksydacyjnych. Środowisko hiperbaryczne przyczynia się do zmian w zakresie struktur białkowych, prowadząc do wzrostu stężenia grup karbonylowych następujących po nurkowaniach.

Pojawiający się stres oksydacyjny, wydaje się wpływać w różny sposób na kobiety i mężczyzn, za czym przemawia różna aktywność enzymów antyoksydacyjnych w badanych grupach przedstawiono w następujących artykułach: *Hyperbaric effect on selected parameters of oxidative stress in diver's blood* Pol. J. Environ. Stud. 2006 Vol. 15, 4B, 96-99 [35], *Analysis of oxidase activity of ceruloplasmin and processes of lipid peroxidation in blood in hyperbaric conditions* Pol. J. Environ. Stud. 2006 Vol. 15, 2B 1284-1286 [36], *Procesy pro- i antykoagulacyjne w warunkach hiperbarii* Polish Hyperbaric Research, 2011,

Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1995, 46, 1/4, 27-30 [26];

- *Effect of saturated air and nitrox diving on selected parameters of haemostasis* Bull. Inst. Mar. Trop. Med. Gdynia, 1997, 48, 1/4, 75-82 [27];

- *Evaluation of heliox saturated diving on the basis of selected haemostatic parameters* Bull. Inst. Marit. Trop. Med., 1998, 49, 1/4, 117-121 [28];

- *The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry* Aviat. Space Environ. Med. 2000, 71: 925-8 [5];

- *Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving* Blood Coagulation and Fibrinolysis, 2001, 12, 1-6 [10];

- *Diving up to 60 m depth followed by decompression has no effect on proenzyme and total thrombin activatable fibrinolysis inhibitor antigen concentration*. Blood Coagulation and Fibrinolysis, 2003, 14, 1-3 [23];

- *Assessment of diving risks - based on selected haemostatic parameters* Actual Problems of Transport Medicine, 2005, 1: 80-83 [29];

- *The use of heliox instead of air diminishes the effect of hyperbaric expositions and decompression on blood platelets but not on leukocytes* Polish Journal of Environmental Studies, 2005, 14, 1: 95-98 [30];

- *PAP, PAI-1, platelet count - promising safety parameters of diving* Polish Journal of Environmental Studies, 2006, 15, 4B: 130-133 [24];

- *Decreased levels of PAI-1 and alpha2-antiplasmin contribute to enhanced fibrinolytic activity in divers* Thrombosis Res., 2007 121 [2] : 235-240 [31];

- *Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives*. Aviation, Space and Environmental Medicine, 2010, 81, 6: 585-588 [21];

- *Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis* Advances in Medical Sciences 2010 [22];

- *The evaluation of the effect of hyperbaric oxygenation on selected fibrinolysis parameters in divers* Polish Hyperbaric Research, 2011, 4, [33], 63-70 [32];

- *Physiological and biochemical conditioning of haemostasis in air hyperbaria* 2011 [33];

- *Selected issues of marine and diving medicine* 2013 [34].

The hyperbaric environment does not remain neutral in relation to the antioxidant system either. Dives performed in accordance with the effective safety standards cause an increased productivity of reactive oxygen forms, which is indicated by a growth in the determined antioxidative enzymes.

The hyperbaric environment contributes to changes within protein structures, thus leading to an increase in the concentration of carbonyl groups occurring after diving.

The occurring oxidative stress seems to have a different effect on men and women, which is reflected by a different type of activity of antioxidative enzymes in researched groups, which was presented in the following articles: *Hyperbaric effect on selected parameters of oxidative stress in diver's blood* Pol. J. Environ. Stud. 2006 Vol. 15, 4B, 96-99 (35), *Analysis of oxidase activity of ceruloplasmin and processes of lipid peroxidation in blood in hyperbaric conditions* Pol. J. Environ. Stud. 2006 Vol. 15, 2B

1, [34], 21 – 26 [37].

WNIOSKI

Zastosowanie oceny zagrożenia chorobą dekompresyjną u nurków, na podstawie zmian hemostazy nie uwzględnianej dotychczas w ocenie bezpieczeństwa tabel nurkowych w świecie, umożliwia nową interpretację zjawisk, zachodzących podczas dekompresji.

1284-1286 (36), *Pro- and anti-coagulation processes under hyperbaric conditions* Polish Hyperbaric Research, 2011, 1, (34), 21 – 26 (37).

CONCLUSIONS

The application of a risk assessment to decompression sickness in divers, on the basis of changes in the haemostasis that have not been considered in safety evaluations of the decompression tables used around the world, enables a new interpretation of phenomena occurring during decompression.

BIBLIOGRAPHY

- Bert P. (1878): La pression barometrique Paris.
- Olszański R., Częstochowska E., Lipińska I., Sićko Z. (1990): Effect of nitrox saturation diving upon platelet hemostasis. *Bull. Inst. Marit. Trop. Med.* 41, 1 -4, 59 – 62.
- Pontier J.M., Jimenez C., Blatteau J. E. (2008): Blood platelet count and bubble formation after a dive to 30 msw for 30 min *Aviat Space Envir Med* 79 (12): 1096-1099.
36. Pontier J.M., Blatteau J.E., Vallé e N. (2008): Blood platelet count and severity of decompression sickness in rats after a provocative dive *Aviat Space Envir Med* 79 (8) 761-764.
- Baj Z., Olszański R., Majewska E., Konarski M. (2000): The effect of air and nitrox divers on platelet activation tested by flow cytometry. *Aviat. Space. Environ. Med.* 71, 925 - 8.
- Bosco G., Yang Z.J., Savini F. et al. (2001): Environmental stress on diving-induced platelet activation *Undersea Hyperbaric Med* 28 (4): 207-211.
- Kernagis D.N., Datto M.B., Moon R.E. (2009): Genome-wide expression profiling of decompression stress: a new approach to biomarker discovery and validation *UHM* 36(4) 256 – 257.
- Moon R.E. (2009): Adjunctive therapy for decompression illness: a review and update *Diving Hyperb Med* 39 (2): 81-87.
- Bosco G., Yang Z.J., Di Tano G., et al.(2010): Effect of in-water oxygen prebreathing at different depths on decompression-induced bubble formation and platelet activation *J Appl Physiol* 108 (5): 1077-1083, doi: 10.1152/jappphysiol.01058.2009.
- Olszański R., Radziwon P., Baj. Z., Kaczmarek P., Giedroń J., Galar M., Kłoczko J. (2001): Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in humans after decompression following saturation diving. *Blood Coagul Fibrinolysis* 12, 5, 1 – 6.
- Poff D.J., Wong R., Bulsara M. (2007): Acute decompression illness and serum s100 beta levels: A prospective observational pilot study. *Undersea Hyperbaric Med* 34 (5): 359-367.
- Hibbs H.W., Harasym M.P., Bansal D., et al. (2007): Effects of a single hyperbaric oxygen exposure on haematocrit, prothrombin time, serum calcium, and platelet count *Diving Hyperbaric Med* 37 (3): 143-145.
- Pontier J.M., Vallee N., Bourdon L. (2009): Bubble-induced platelet aggregation in a rat model of decompression sickness *J Appl Physiol* 107 (6): 1825-1829, doi: 10.1152/jappphysiol.91644.2008.
- Monaca E., Strelow H., Juttner T., Hoffmann T., Potempa T., Windolf J., Winterhalter M.: 2014 Assessment of hemostaseologic alterations induced by hyperbaric oxygen therapy using point-of-care analyzers. *UHM*, 41,1, 17-26.
- Olszański R., Gulyar S.A., Kłos R., Skrzyński S. (1993): Platelet haemostasis - hyperbaric air exposures, 163-168 [w:] *EUBS on diving and hyperbaric medicine* (ed. R. Reinertsen, A. Brubakk, G. Bolstad), Trondheim, Norway.
- Olszański R., Baj Z., Buczyński A., Konarski M., Kłos R., Skrzyński S., Zeman K. (1997): Evaluation of decompression sickness risk in saturated air and nitrox dives judged on the basis of changes in haemostasis [w:] *EUBS on diving and hyperbaric medicine* (ed. Mekjavic B., Tipton M., Eiken O.) 91- 95.
- Olszański R., Baj Z., Buczyński A., Kłos R., Konarski M., 23. Kozłowski W., Raszeja-Specht A., Siermontowski P., Skrzyński S. (1998): Effect of air and trimix diving on selected parameters of haemostasis [w:] *High Pressure Biology and Medicine* (red. Bennett P., Demchenko I., Marquis R.) University of Rochester Press USA, 234-236.
- Baj Z., Olszański R., Konarski M., Kozłowski W., Majewska E., Siermontowski P. (1998): Flow cytometric testing of blood platelets activation in air diving [w:] *EUBS on diving and hyperbaric medicine* (ed. Genner M.) 113-116.
- Olszański R. (1999): Flow cytometric testing of blood platelet activation in diving [in:] *Advances in high pressure bioscience and biotechnology* (red. H. Ludwig) Heidelberg, 565-569.
- Olszański R. (2006): Decompression sickness risk assessment in divers: *Wojskowy Instytut Medyczny*.
- Olszański R., Radziwon P., Piszcz J., Jarzemowski J., Gosk P., Bujno M., Schenk J.F. (2010): Activation of platelets and fibrinolysis induced by saturated air dives. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 81, 6: 585-588.
- Olszański R., Radziwon P., Siermontowski P., Lipska A., Łaszczyńska J., Van Damme-Ostapowicz K., Korsak J., Bujno M., Gosk P., Schenk J.F (2010): Trimix instead of air, decreases the effect of short-term hyperbaric exposures on platelet and fibrinolysis activation. *Advances in Medical Sciences*, 2010, 55(2), doi: 10.2478/v10039-010-0050-3.
- Olszański R., Radziwon P., Galar M., Kłos R., Kłoczko J. (2003): Diving up to 60 m depth followed by decompression has no effect on proenzyme and total thrombin activatable fibrinolysis inhibitor antigen concentration. *Blood Coagulation and Fibrinolysis* 14, 1-3.
- Olszański R., Radziwon P., Baj Z., Dąbrowiecki Z., Konarski M., Korzeniewski K., Lipska A., Siermontowski P., Żebrowska A. (2006): PAP, PAI-1, platelet count – promising safety parameters of diving. *Polish Journal of Environmental Studies* 15, 4B: 130-133.
- Ciborowski M. F., Ruperez J., Martinez-Alcazar M.P., Angulo S., Radziwon P., Olszański R., Kłoczko J., Barbas C. (2010): Metabolomic Approach with LC-MS Reveals Significant Effect of Pressure on Diver's Plasma. *Journal of Proteome Research* 9(8): 4131-4137, doi: 10.1021/pr100331j.
- Olszański R., Częstochowska E. (1995): Evaluation of the risk of decompression sickness in saturated nitrox diving by examination of haemostasis. *Bull. Inst. Mar. Trop. Med.* 46, 1/4, 27 - 30.
- Olszański R., Sićko Z., Baj Z., Częstochowska E., Konarski M., Kot J., Radziwon P., Raszeja-Specht A., Winnicka A. (1997): Effect of saturated air and nitrox diving on selected parameters of haemostasis. *Bull. Inst. Mar. Trop. Med.* 48, 1/4, 75 - 82.
- Olszański R. (1998): Evaluation of heliox saturated diving on the basis of selected haemostatic parameters, *Bull. Inst. Marit. Trop. Med.* 49, 1/4, 117 -121.
- Olszański R., Radziwon P., Baj Z., Gulyar S., Konarski M., Korzeniewski K., Siermontowski P. (2005): Assessment of diving risks – based on selected haemostatic parameters. *Actual Problems of Transport Medicine* 1: 80-83.
- Radziwon P., Olszański R., Baj Z., Kłoczko J., Kłos R., Konarski M., Siermontowski P. (2005): The use of heliox instead of air diminishes the effect of hyperbaric expositions and decompression on blood platelets but not on leukocytes. *Polish Journal of Environmental Studies* 14, Suppl. I: 95-98.
- Radziwon P., Olszański R., Tomaszewski R., Lipska A., Dąbrowiecki Z., Korzeniewski K., Siermontowski P., Boczkowska-Radziwon B. (2007): Decreased levels of PAI-1 and alpha2-antiplasmin contribute to enhanced fibrinolytic activity in divers. *Thrombosis Res.* 121(2) : 235-240.
- Tomaszewski R., Radziwon P., Olszański R. (2011): The evaluation of the impact of hyperbaric oxygenation on selected fibrinolysis parameters in divers *Polish Hyperbaric Research*, 4, (33), 63-70.
- Olszański R. *Physiological and biochemical conditioning for haemostasis in hyperbaric air exposures 2011, WIM Warsaw*

34. Olszański R.: Selected issues of marine and diving medicine 2013, WIM Warsaw
35. Kozakiewicz M., Kędziora J., Kędziora-Kornatowska K., Pawluk H., Olszański R., Dąbrowiecki Z., Siermontowski P. (2006): Hyperbaric effect on selected parameters of oxidative stress in divers' blood. Polish Journal of Environmental Studies 15, 4B: 96-99
36. Kozakiewicz M., Kędziora J., Kędziora-Kornatowska K., Pawluk H., Olszański R., Dąbrowiecki Z., Kornatowski T. (2006): Analysis of oxidative activity of ceruloplasmin and process of lipid peroxidation in blood [S&S1]of hyperbaric condition. Polish Journal of Environmental Studies 15, 2B: 1284-1286
37. Kozakiewicz M., Olszański R., Siermontowski P., Dąbrowiecki Z., Kędziora J. (2011): Pro- and anti-coagulation processes under hyperbaric conditions Polish Hyperbaric Research, 1, (34), 21 – 26.

prof. dr hab. med. Romuald Olszański
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
e-mail: romuald.olszanski@wp.pl

A WORLD THAT IS NOT LOST

ŚWIAT NIEUTRACONY

МИР, КОТОРЫЙ НЕ ПОТЕРЯН

Siergiej Gulyar

Underwater Physiology Department of Bogomolets Institute of Physiology, National Academy of Sciences, Ukraine
Wydział Fizjologii Podwodnej w Zakładzie Fizjologii im. Aleksandra Bohomolca, na Państwowej Akademii Nauk, Ukraina

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article retells the impressions of the experienced diver from diving in the Andaman Sea (Thailand). The standard of dives was for divers with experience. The team was highly professional. This made it possible in a short period to see under the water that many cannot do for years. Despite the environmental and natural disasters on our planet there are still places that attract by its primitiveness. Photos from the dive sites reflect the impression of underwater variety, which should which should be taken care of by modern man.

Niniejszy artykuł przytacza wspomnienia doświadczanego nurka z wypraw nurkowych na Morzu Andamańskim (Tajlandia). Standard wyprawy obejmował nurkowania dla doświadczonych nurków. W skład zespołu weszli jedynie profesjonalni nurkowi, co pozwoliło w krótkim czasie dokonać eksploracji rejonów podwodnych dotąd niedostępnych dla wielu nurków podejmujących podobne próby. Pomimo rozmaitych klęsk środowiskowych i żywiołowych dotykających naszą planetę, nadal można natrafić na miejsca przyciągające swoją pierwotną nieskazitelną. Zdjęcia z wypraw ukazują różnorodność środowiska podwodnego, o które człowiek współczesny winien zadbać.

Статья содержит впечатления опытного дайвера от погружений в Андаманском море (Таиланд). Погружения соответствовали стандарту для дайверов, имеющих опыт. Команда отличалась высоким профессионализмом. Благодаря этому стало возможным в короткий период увидеть под водой то, что многие не могут достичь годами. Несмотря экологические и природные катаклизмы, на нашей планете еще сохранились места, которые привлекают своей первозданностью. Фотографии с мест погружений дают впечатление о подводных богатствах, о которых должен заботиться человек современны.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 53 - 58

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.5](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.47.5)

Pages: 6 , figures: 10, tables: 0.

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

Typ artykułu: popularny
Popular article

Termin nadesłania: 01.07.2014 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.07.2014 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

We usually study other travelers' impressions, to take a decision on forthcoming trip. If not to concur with advertising booklets and appeal to adventure genes, we will find that the majority will prefer coral sand or a chaise lounge at a coastal pool. The minority, whose relative quantity increases every year, try their best to get bright impressions which will remain in their memory for a long time. Here a noble place occupies crews of yachts and balloons, commands of climbers and cave explorers, historical and green tourists, and, of course, visitors of a continental shelf. A few words and illustrations what can feel and see a competently organized visitor.

Sure, I will tell about underwater dives with scuba, i.e. diving.

There has passed time of the first generation of Ukrainian scuba-divers of 60-70th dressed in stripped vests, with aqualungs «Ukraine-1 and -2» and flippers «Aquanaut» which have lived up to now. This period, nevertheless, is significant by the leading achievements of Ukraine in aquanautics, building of underwater laboratories "Ikhtiander" and diving down to record depths (2500 m). Now, under water romantic life, in many respects has been divided into the professional technologies using ship pressures chambers and deep-water equipment, and recreational, connected with active learning of depths down to 100 m. Today all coasts of the warm and cold seas are stuck round by the dive-clubs providing full service and modern equipment.

Our trip has been organized by the Kiev underwater club «Muraena/Мурена», its head V.V. Bragin, in the past the chairman of Executive committee of the Ukrainian underwater federation. 40-year experience in organizing underwater competitions has allowed to choose a route which has captured the best dive-sites of Andaman sea.

The team of divers from Ukraine, supplied with the NDL certificates, less, than in day has arrive to Bangkok, and then a province Krabi on island Ko Lanta We were constantly accompanied by the only, on island, Russian-speaking diving club the "Ok Club Thai".

Bungalow romantics near shallow-white coral sand beach, completed with a damp heat in combination with very warm water.

Coconuts here are used instead of a building stones, they surround flower beds, paths, or they simply lay in heaps. The see throw them out on the sea beach. Everywhere people drink nut juice through a straw, and then scratch out pulp with a spoon. You start to understand "lazy" natives. However, you will never find Thai bodies lying on a beach, - all are doing business: many-sided touristic service, trading local agricultural product at numerous markets and consumer goods in small shops, driving mopeds and "tuk-tuks".

Everything is very cheap. Thai inscriptions have no intervals between words, one should guess, how to separate them and what they mean. On the island, local people know English very approximately; they smile in response, as if they have understood, but the result is inadequate.

Our main task is faster to dive under the water, therefore after a blitz-acclimatization - again a minibus, «Lexus» with Thai tuning (Rather good!), registration in the dive-club "Liquid" checking our dive certificates, filling in the forms. We signed the forms in which, as always, the maximum responsibility for your safety during dives is laid on the diver himself.

At last, a pleasure yacht "Vilai Samut", with great

Туристические и дорожные впечатления, как правило, имеют ознакомительное значение и часто просматриваются перед принятием решения и предстоящей поездке. Если уйти из плоскости конкурирования с рекламными проспектами и обратиться генам авантюризма, то выявится, что большинство будет предпочитать коралловый песочек или шезлонг у берегового бассейна. Меньшинство же, удельный вес которого растет, все профессиональней работает на получение насыщенных впечатлений, которые надолго останутся в памяти. Здесь занимают достойное место экипажи яхт и воздушных шаров, команды альпинистов и спелеологов, исторические и зеленые туристы, и, конечно, гости континентального шельфа. О том, что может ощутить и увидеть компетентно организованный его посетитель, несколько слов и иллюстраций.

Конечно, речь идет о подводных погружениях с аквалангом, т.е. дайвинге. Прошло время первого поколения аквалангистов 60-70-х гг., одетых в тельняшки, с аквалангами «Украина-1 и-2» и ластами «Акванавт», которые дожили до наших дней. Этот период, тем не менее, знаменателен лидирующими достижениями Украины в акванавтике, строительстве подводных лабораторий «Ихтиандр» и рекордными глубинами (до 2500 м). Сейчас же романтика жизни под водой во многом разделилась на профессиональные технологии, использующие судовые барокамеры и глубоководное снаряжение, и рекреационные, связанные с активным познанием глубин до 100 м. Сегодня все берега теплых и холодных морей облеплены дайв-клубами, обеспечивающими полный сервис и современное снаряжение.

Поездка была организована Киевским клубом подводников «Мурена», его руководителем В.В. Брагиным, в прошлом председателем Исполнительного комитета Украинской подводной федерации. 40-летний опыт организации подводных соревнований позволил выбрать маршрут, который охватил лучшие дайв-сайты Андаманского моря.

Команда дайверов Украины, снабженная международными сертификатами NDL, меньше, чем за сутки прибыла в Бангкок, а затем в провинцию Краби на остров Ко Ланта. Нас постоянно сопровождал единственный на острове русскоязычный дайвклуб Ok Club Thai. Романтика бунгало вблизи мельчайшего белоснежного кораллового песка дополнялась насыщенно влажной жарой в сочетании с теплой водой. Кокосовые орехи здесь употребляются вместо строительного камня, ими ограждают клумбы, дорожки, или они просто лежат кучами. Их выбрасывает море на пляж. Сок ореха везде пьют через соломинку холодным, а потом ложкой выгрызают мякоть. Понимаешь ленивых туземцев. Однако лежащих на пляже тел тайцев не видно, все при деле: многогранный турсервис, продажа местной сельхозпродукции и ширпотреба, езда на мопедах и «тук-туках». Все дешево. Тайские надписи не имеют интервалов между словами, догадайся, что имеют в виду. На острове английский знают примерно, как и в Украине: улыбаются, все поняли, но результат неадекватный. Наша главная задача - поскорей под воду, поэтому после блиц-акклиматизации - снова микроавтобус (тюнингванный по-тайски «Лексус»!), оформление в дайв-клубе Liquid документов, общее

delay, rather late, at night started in the sea. It was its first flight in this season, therefore I do not mention about the starting disorder, I know, it could have been much worse. But in a day everything was adjusted. In flights, usually, after a withdrawal, everything arranges. Diving routine consisted not only in getting impressions from the dives themselves, which happened four times per day, but also in dragging weights, numerous vestments in equipment, jumps from a board into the water, swimming in flippers observance of personal safety, maintenance of untouched ecology demand, and also in performance of instructions, procedures and checks of accompanying instructors. They appeared highly competent professionals, and nice guides. Communication with them created trust and confidence. And around sailors-assistants constantly fussed around, helped to lift equipment, filled cylinders, provided a roar of the compressor and transportation by "Zodiac" boat, etc.

Simillian islands present a chain of small, practically uninhabited, mountainous islands which are declared a national parks-reserves «Similan Islands», «Surin». All islands are very picturesque, every second would suit for descriptions in adventure stories by Bussenar: steep rocky coast, sometimes woody or steep, alternating with snow-white beaches. There was an island, hollow inside, with a lake, and a beach and the internal jungle, connected with the sea by a long dark cave in which only your head passed over the water.

The mislaid world. The paradise, in one word. But without platforms for a house, a garden or a kitchen garden and without the potable water, protected by ecological controllers. For visitors it that is exactly what they wanted: best conditions for the maximum satisfaction of tourist hunger.

The route covered the best sites to which because of the complexity to be reached, you do not meet no crowds of beginners. These islands are: Anitas Reef, West of Edem Reef, Three Trees Reef, Koh Bon Bay Site, Koh Bay Site West Ridge, Koh Tachai Pinnacle, Koh Tachai Serin Isl, Rishelieu Rock, Boonsung Wreck Khao Lak, Hin Daeng, Hin Muang, Koh Haa.

The underwater environment has a variety different from the Red sea. Very much impress the fish clouds, who illustrate the electromagnetic principles of the society management. Fields of soft corals made impression of the African savanna with mini baobabs. There were organized in vertical walls leaving down to 60 m, containing a level-by-level deep variety of flora and fauna. Muraenidae, executed roles of the witches who were looking out from their witches' huts, obviously wishing to bite acting meat parts of divers, especially at night. We saw fields-monuments to the recent tsunami which has changed the microclimate temperature, and caused mass destruction of corals.

We expected sharks, dumplings (mants) and turtles, which were promised by instructors, but have seen only one bolting turtle of average age. She informed us, that all the rest have left for a dinner. Rare underwater fish exotics compensated motley snakes, lionfishes, scorpaeans and barracudas which also could deteriorate divers' health.

Everywhere, the unforgettable beauty of underwater landscapes which especially revealed due to 30 meters visibility. Underwater grottoes, caves, canyons, filled with fish, impressed by their primitive state. Night dives provided absolutely non-standard impressions: the full weightlessness, rummaging in different corners of water areas the rays of lights, predators, which have come out from their dwelling places for night hunting

назначение которых как всегда – переложить максимум ответственности на дайвера. Наконец, прогульно-дайверская яхта Vilai Samut в ночь вышла в море. Это был первый ее рейс в этом сезоне, поэтому о стартовом беспорядке не говорю, знаю, бывает и хуже. Но потом все наладилось. В рейсах с отходом от причала все становится на свои места.

Рутина погружений состояла не только в получении впечатлений от самого спуска, которых было по четыре в день, но и в перетаскиваниях тяжестей, многочисленных облачениях в снаряжение, прыжках за борт, собственно работе ластами, соблюдении личной безопасности, поддержании экологии нетронутой, а также в выполнении указаний, процедур и проверок наблюдающих инструкторов. Они оказались высококомпетентными профессионалами, и симпатичными в общении кураторами, что создавало доверие и уверенность. А вокруг постоянно суетились на подхвате матросы-ассистенты, помогли поднимать снаряжение, заполняли баллоны, обеспечивали грохот компрессора и перевозки «Зодиак» и т.п.

Симиланы представляют собой цепочку мелких практически необитаемых гористых островов, которые превращены в национальные парки-заповедники «Similan Islands», «Surin». Острова живописные, каждый второй подходит для применения в авантюрных романах Буссенара: отвесные скалистые берега, иногда лесистые или обрывистые, перемежающиеся с белоснежными пляжками. Встретился остров, полый внутри, с озером, пляжем и внутренними джунглями, соединяющийся с морем длинной темной пещерой, в которой над водой проходит лишь голова. Затерянный мир. В общем, рай, но без площадок для дома, сада или огорода и без питьевой воды, охраняемый экологическими контролерами. Для гостей это именно то, что нужно: получают условия для максимального удовлетворения туристического голода.

Маршрут охватывал лучшие сайты, на которые из-за сложности редко возят толпы начинающих. К ним относятся Anitas Reef, West of Edem Reef, Three Trees Reef, Koh Bon Bay Site, Koh Bay Site West Ridge, Koh Tachai Pinnacle, Koh Tachai Serin Isl, Rishelieu Rock, Boonsung Wreck Khao Lak, Hin Daeng, Hin Muang, Koh Haa.

Подводная среда имела разнообразие, отличающееся от Красного моря. Впечатляют рыбы тучи, иллюстрирующие принципы электромагнитного управления обществом. Поля мягких кораллов создавали впечатление африканской саванны с минибаобабами. Встречались вертикальные стены, уходящие вниз до 60 м, содержащие послонное глубинное разнообразие флоры и фауны. Роли ведьм, выглядывающих из окон избушек, исполняли мурены, явно желающие куснуть выступающие мясные части дайверов, особенно ночью. Встречались поля-памятники недавнему цунами, изменившему температурный микроклимат, причинивший массовую гибель кораллов. Мы ожидали акул, скатов-мант и черепах, обещанных инструкторами, но увидели лишь одну улепетывающую черепаху средних лет. Сообщила, что все ушли на обед. Редкую подводную рыбную экзотику заменили несколько пестрых змей, крылатки, скорпены, барракуды, которые тоже могли подпортить здоровье дайверов. Незабываема красота

unexpectedly caught by a beam. As we dived in water area near to the yacht it was possible to imagine the surprise of night underwater natives at the sight of the massed invasion of people with lanterns.

The fact that not all desired fishes have come into the view, was completely compensated by fine weather. Initially we risked, as the favorable season was only opening, and we could appear in a zone of wind and ripple which would cross out all pleasure from dives and would cause seasickness in ones, who desired. We managed to pass all the planned routes and to capture the maximum. The team turned out to be very professional: former and recent champions in scuba diving, underwater hunting, professional coaches and me, the professional deep diver, who turned for a period in a shallow diver. Therefore there were no technical problems during the dives, moreover, tough guys-instructors began to perceive us not as "teapots" which have bought their certificates, but as worthy partners.

A few words about the professional side of the topic. During recent years more and more popular kind of scuba diving becomes the so-called "techno diving". Its appearance is caused by improvement of underwater respiratory techniques, penetration of confidential, in the past, technologies into practice of recreational diving, birth of new generations of decompression meters, and also due to thirst of people to receive new sensations and to share subsequent bravado expressed in figures of the subdued depths.

Actually this method represents a remix of technologies of 50-60th, based on application for dives not compressed air, but a mix of nitrogen and oxygen with its lower concentration. It is caused by a necessity to prevent sharp oxygen poisoning. However because of the increased nitrogen dissolution in fabrics the risk of decompression frustration increases. It can be reduced by parallel application of helium-oxygen mixtures.

There is a variant of mixes enriched by oxygen: then the decompression procedure is facilitated, but a damaging action of oxygen becomes more vivid. All these significantly complicate the diving procedure. Moreover, such dives should be provided by a pressure chamber with the personnel in a ready condition, transport for delivery of the victim, supporting partners under water and afloat. All this is seldom observed by dashing techno divers. From a recreational position such immersing give the diver modest pleasure from stay in gloomy water with smaller assortment of flora and fauna. They can be defined as extremely risky. The established practice of underwater works testifies that dives with nitrogen-oxygen mixes can be used to perform professional targets. But ship pressure chamber technology equipped with lowered chamber-lift is much safer. But this is another story.

Very representative is supervision at the state of health of one of the most trained divers in the world. In 70th it was the crew commander of underwater laboratory. He stayed there 52 days at 15 m depth. He showed the best decompression limit: fast decompression after 6 hour stay at depth 21 m did not caused any illness symptoms. After all this experience he still works professionally (!) up to 6 hours a day. He hunts on sea hedgehogs, trepangs, underwater ducks, and derive gold from under the Atlantic and Pacific Oceans cold waters. Sure, hyperbaric loading factors on the organism systems were incredibly high. And though he did not experienced decompression disorders, there revealed symptoms of changes in his nervous system. The nervous tissue is sensitive to fat-soluble drugs-depressants, for example, to alcohol.

подводных пейзажей, которая особо проявлялись при 30-ти метровой видимости. Подводные гроты, пещеры, проплывы, заполненные рыбой, впечатляли первобытностью. Ночные спуски обеспечивали нестандартные впечатления: полная невесомость, шарящие в разных углах акватории лучи света, вышедшие на волю ночные хищники, неожиданно попадающие в луч. Поскольку спуск осуществлялся в акватории вблизи яхты, то можно представить удивление ночных подводных аборигенов при виде массивованного нашествия людей с фонарями.

То, что не все нужные рыбы попали в поле зрения, полностью компенсировалось прекрасной погодой. Исходно мы рисковали, поскольку благоприятный сезон только открывался, и мы могли оказаться в зоне ветра и зыби, которые перечеркнули бы спуски и вызвали бы морскую болезнь у желающих. Удалось пройти все плановые маршруты и зафиксировать максимум. Команда оказалась чрезвычайно компетентной: прошлые и действующие чемпионы по подводному плаванию, подводной охоте, профессиональные тренеры и я, глубоководник, ставший мелководным дайвером. Поэтому не было технических проблем при погружениях, более того, крутые парни-инструктора стали относиться к нам не как к «чайникам», купившим сертификаты, а как к достойным коллегам.

Немного о профессиональном. В последние годы все более популярным видом погружений с аквалангом становится так называемый технодайвинг. Его возникновение обусловлено совершенствованием подводной дыхательной техники, проникновением в прошлом секретных технологий в практику рекреационных погружений, появлением новых поколений декомпрессиметров, а также жадной получить новые ощущения не без последующей бравады цифрами покоренных глубин. Фактически этот метод представляет собой ремикс технологии 50-60-гг., основанной на применении для пребывания под водой не сжатого воздуха, а смеси азота и кислорода с более низкой его концентрацией. Это вызвано необходимостью профилактики острого кислородного отравления. Однако из-за увеличения растворения в тканях азота риск декомпрессионных расстройств возрастает. Его можно уменьшить параллельным применением гелио-кислородных смесей. Есть вариант обогащенных кислородом смесей: тогда облегчается декомпрессионная процедура, но становится заметным повреждающее действие кислорода. Все это существенно усложняет процедуру спуска. Более того, такие погружения должны быть обеспечены барокамерой с персоналом в состоянии готовности, транспортом для доставки пострадавшего, страхующих напарников под водой и в плавсредстве. Лихими технодайверами это редко соблюдается. С рекреационной позиции такие погружения дают ныряльщику скромное наслаждение от пребывания в сумрачной воде с меньшим ассортиментом флоры и фауны, они скорее экстремально рискованные. Устоявшаяся практика подводных работ свидетельствует, что погружения на азотно-кислородных смесях могут применяться для выполнения производственных заданий. Но более безопасной технологией является применение судовой барокамеры, оборудованной спускаемой камерой-лифта. Это уже новый разговор. Показательно наблюдение за состоянием здоровья одного из самых тренированных дайверов

Last year's this diver started to experience symptoms of depression which demanded medical attention. We consider, this is the consequence of chronic nitrogen action on neurons, which has the mechanism of action similar to reaction to alcohol. It is well known, that the chronic alcoholism is also accompanied by a depressive-disturbing states. All mentioned above, can refer to technodivers, though not enough period of time have passed to single out such tendency.

To complete the story, it would be desirable to answer a question where it is better and whether it is necessary to go so far. Sure, much depends on recreational mentality. Very many people prefer to estimate the seas for the quality of sand on the coast and water temperature. Others prefer to come to seacoast, but to spend time within pool with warmed-up sea water. And only the few estimate seas for transparency of the water, beauty of the bottom, vegetation and living creatures. Simultaneous sensation of hydrospace, especially at night, chill in a body, connected with understanding of danger, and feeling of belonging to a special underwater caste.

Few gourmets distinguish these representatives of shelf diving and create a brotherhood never destroyed by years.

Exactly from this position seas significantly differ from one another never mind, how beautiful and extravagant coastal infrastructures may be. And from this position it would be possible to allocate the seas of the lowest class, suitable for kids and beginners. This concerns Azov, Caspian and Black, etc. the seas. Their comfort can be compared only with man-made river seas. Better quality may be titled to the group of the seas of Mediterranean type - more living creatures and water is warmer.

The next position could be given to Antarctic water areas having a rich exotic life, though in the extremely cold water. The top position of such pyramid should be given to tropical seas - Red, Caribbean, Andaman and the like. In these seas the violence of life is not destroyed even by the aggressive mankind. These seas reveal very vivid distinctions as to the inhabitants and plants. Therefore even if blindly to get to one of them, you will define the co-ordinates unmistakably. Not all Thai water areas are equally good, there are turbid and hollow shelf, but with an excellent beaches. Therefore there is a sense to preliminary study a question taking into account your interests. Part of beauties that the author managed to picture, the unique person, whose camera has remained efficient till the last day, is possible to see on the attached photos.

в мире (И.С.). В 70-х гг. он был командиром экипажа подводной лаборатории «Черномор», который находился на глубине 15 м в течение 52 сут. У него наивысший декомпрессионный лимит: быстрая декомпрессия после 6-ти часового пребывания на глубине 21 м не вызвала симптомов болезни. После этого он профессионально до сих пор (!) работает до 6 часов в день по добыче морских ежей, трепангов, подводных уточек, золота в в холодных водах Атлантического и Тихого океанов. Разумеется, нагрузка факторами гипербарии на системы организма была невероятно высока. И хотя декомпрессионных расстройств у него не обнаружено, возникли симптомы изменений в нервной системе. Нервная ткань чувствительна к жирорастворимым наркотикам-депрессантам, например, алкоголю. У И.С. в последние годы возникли симптомы депрессивного состояния, которое требовало врачебного внимания. С нашей точки зрения, это следствие хронического действия на нейроны азота, который имеет механизм действия, подобный реакции на алкоголь. Известно, что хронический алкоголизм также сопровождается депрессивно-тревожным состоянием. Все вышесказанное можно отнести и к технодайверам, хотя пока еще для выявления такой тенденции прошло мало времени.

Завершая, хотелось бы ответить на вопрос, где лучше и стоит ли ехать так далеко. Конечно, многое зависит от рекреационного менталитета. Очень многие предпочитают оценивать моря по качеству песка на их берегах и температуре воды. Другим нравится быть на берегу моря, однако при этом находиться в бассейне с морской подогретой водой. И лишь немногие оценивают моря по прозрачности воды, живописности дна, растительности и живности. Одновременное ощущение гидрокосмоса, особенно ночью, холодок по телу, связанный с пониманием опасности, и чувство принадлежности с особой касте человека подводного отличают этих немногих гурманов шельфа и создает неразрушаемое годами братство. Именно с этой позиции моря существенно различаются, как бы ни красивы и круты были бы береговые инфраструктуры. И с этой позиции можно было бы выделить моря низшего класса, пригодные для начинающих, к которым относится Азовское, Каспийское и Черное и т.п. моря. Их комфорт заметен лишь при сопоставлении с рукотворными речными морями. Выше качеством представлена группа морей типа Средиземного - больше живности и вода теплее. Далее можно было бы поставить антарктические акватории, имеющие богатую экзотическую жизнь, хотя и при экстремально холодной воде. Вершину такой пирамиды составляют тропические моря - Красное, Карибское, Андаманское и мн.др. Буйство жизни здесь даже агрессивное человечество еще не разрушило. Различие в ассортименте обитателей имеется, поэтому если с закрытыми глазами там оказаться, можно безошибочно определить координаты. Не все тайские акватории одинаково хороши: есть и мутноводные, а есть и пустодонные, но с хорошим пляжем.

Поэтому есть смысл предварительно изучить вопрос с учетом своих интересов.

Часть того, что удалось автору, единственному, чей фотоаппарат сохранился работоспособным до последнего дня, можно увидеть на прилагаемых фото.



prof. med. Siergiej Gulyar
Wydział Fizjologii Podwodnej w Zakładzie Fizjologii
im. Aleksandra Bohomolca,
Państwowa Akademia Nauk Ukrainy
gulyar@zepter.ua

THE EVALUATION OF PHYSICAL FITNESS OF DIVERS WITH REGARD TO VENTILATION PARAMETERS

OCENA SPRAWNOŚCI FIZYCZNEJ PŁETWONURKÓW W ŚWIELE PARAMETRÓW WENTYLACYJNYCH

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ВОДОЛАЗОВ В СВЕТЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИИ

Tadeusz Doboszyński, Bogdan Łokucijewski

Maritime Medicine Department Military Medical University, Gdynia, Poland
Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej, Gdynia

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

On the basis of the data provided by available literature, it is assumed that under normobaric conditions general efficiency of an organism finds its equivalent in the oxygen uptake threshold and is limited by cardiac output, whereas in diving it is limited by ventilation possibilities influenced by the density of a breathing mix.

The objective of the study was to determine the adaptive changes occurring in the respiratory system in relation to effort undertaken under water. The research was carried out in a hyperbaric chamber and participated by 14 divers, 7 with professional training and 7 beginners. The study was based on simple tests used in the evaluation of efficiency of the respiratory system and at the same time the determination of hemodynamic and respiratory changes.

As a result, it was affirmed that an increase in gas density in hyperbaric conditions constitutes the most serious factor limiting the maximal ventilation, and also that training has a positive effect on respiratory efficiency under such conditions. The best differentiating tests proved to be: the maximal exhalation pressure test and the Flack test.

Key words: respiratory efficiency, hyperbaric oxygenation, training, adaptation.

W oparciu o dane z piśmiennictwa uznaje się, że w warunkach normobarii wydolność ogólna znajduje swój odpowiednik w pułapie tlenowym i jest ograniczona pojemnością minutową serca, w nurkowaniu natomiast jest ograniczana możliwościami wentylacyjnymi na które zasadniczy wpływ ma gęstość czynnika oddechowego.

Celem badań było ujawnienie zmian przystosowawczych w układzie oddechowym do podejmowania wysiłku pod wodą. Badania przeprowadzono w komorze hiperbarycznej z udziałem 14 nurków, 7 wytrenowanych i 7 początkujących. W badaniach wykorzystano łatwe do wykonania próby stosowane do oceny i określenia sprawności układu oddechowego oraz do równoległego określenia zmian hemodynamicznych i oddechowych.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono, że wzrost gęstości gazów w hiperbarii, stanowi najpoważniejszy czynnik ograniczający maksymalną wentylację dowolną płetwonurków i że wytrenowanie ma pozytywny wpływ na wydolność oddechową w tych warunkach. Próbami najlepiej różnicującymi okazały się: próba maksymalnego ciśnienia wydechu oraz próba Flaaka.

Słowa kluczowe: wydolność oddechowa, hiperbaria, wytrenowanie, adaptacja.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния воздушной гипербарии на дыхательные функции. В группах экспериментальных были подготовленные и начинающие водолазы. В обеих группах были проведены спирометрические исследования, измерялась максимальная сила выдоха, была проведена проба Флака, вычислялась максимальная произвольная вентиляция и сравнивалась с вентиляцией из отверстия водолазного аппарата в условиях нормобарии при давлении 2 ата и 4 ата.

Было установлено, что самым большим ограничением вентиляции в гипербарических условиях является увеличение плотности дыхательного фактора и что пробами лучшей дифференциации являются проба Флака и тест максимального давления выдоха.

Ключевые слова: аэробная способность, вентиляция, гипербария, проба Флака, максимальное давление выдоха.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 59 - 68

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.6](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.47.6)

Pages: 10, figures: 0, tables: 5.

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Praca pierwotnie opublikowana w Roczniku Służby
zdrowia Marynarki Wojennej 1973.

Zatwierdzono do druku w PolHyp Res.: 2.06.2014 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Marynarka Wojenna skupia w kraju największą ilość przygotowanych zawodowo nurków i płetwonurków. Jednakże nie z tego wyłącznie powodu podjęto powyższy temat, gdyż grupa ta w zestawieniu z innymi specjalistami nie jest aż tak liczna. Przyczyna jest inna. Wpływ odmiennych warunków pracy jakie stwarza środowisko wodne, pozostaje w tak dużym kontraście z warunkami pracy na lądzie, że w wielu wypadkach bywa on niedoceniony lub niewłaściwie rozumiany. Z tego powodu pragniemy przeanalizować niektóre problemy związane z wpływem środowiska wodnego na wydolność płetwonurków. Należy zaznaczyć że zagadnienie to ma istotne znaczenie praktyczne, mimo że w piśmiennictwie obserwuje się niedostatek informacji na powyższy temat.

Podjętą badaniem w tym kierunku zdawaliśmy sobie sprawę z trudności znalezienia satysfakcjonującego rozwiązania, ponieważ zgodnie z ustalonym poglądem jest mało prawdopodobne uzyskanie wiarygodnej oceny wydolności zarówno ogólnej jak i specyficznej na podstawie jedynie kilku prostych wskaźników czy też prób fizjologicznych. Nawet jeżeli uwzględnimy, że w nurkowaniu określone cechy adaptacyjne mogą się rozwinąć a więc i zostać ujawnione nie tylko w przypadku efektywnego wykonywania pracy pod wodą, ale nawet w przypadku biernego przebywania w środowisku wodnym, jeżeli będzie ono dostatecznie często powtarzane i to na większych głębokościach a więc pod wyższym ciśnieniem. Istotny wpływ wywierają w tym względzie następujące czynniki: zanurzenie w wodzie, konieczność posługiwania się aparatem nurkowym oraz oddziaływanie zwiększonego ciśnienia.

Te trzy elementy powodują niecodzienne w porównaniu z warunkami na powierzchni /normobaria/ obciążenie funkcjonalne narządu oddechowego oraz zmienione pracy układu sercowo-naczyniowego.

Zasadniczy mechanizm oddziaływania nurkowania na funkcje oddychania można przedstawić na podstawie wpływu na ustrój nurka zanurzenia oraz wpływu zwiększonej gęstości mieszaniny oddechowej. Należy przy tym podkreślić, że wpływ zanurzenia na oddychanie jest w dużej mierze uzależniony od rodzaju sprzętu nurkowego, natomiast gęstość mieszaniny oddechowej a w tym najprostszym przypadku powietrza, pozostaje w prostej zależności do głębokości nurkowania. Wpływ na ustrój nurka każdego z tych dwóch czynników można przedstawić następująco: podczas zanurzenia w wodzie, gdy mięśnie oddechowe są rozluźnione i głośnią otwarta, ciśnienie otaczającej wody i pływalność wytwarzają w płucach określone ciśnienie. Ciśnienie to jest w przybliżeniu równe ciśnieniu wody na wysokości wycięcia rękojeści mostka. Tak więc na wysokości tego orientacyjnego punktu anatomicznego, będącego niejako „punktem równowagi ciśnienia”, ciśnienie pęcherzykowe rozluźnionego układu klatka piersiowa-płuca jest równe ciśnieniu hydrostatycznemu otaczającej wody.

W „punkcie równowagi ciśnienia” przeciwstawne sobie siły są więc zrównoważone. „Punkt równowagi” może być określony inaczej jako punkt eupneiczny. Wnikliwe badania na ten temat zostały przeprowadzone przez Patona [11]. Punkt eupneiczny zostaje zazwyczaj osiągnięty podczas wypełniania płuc objętością, która stanowi około 30% pojemności życiowej /VC/.

Ponieważ w aparatach nurkowych o obiegu otwartym automat oddechowy jest zazwyczaj umieszczony powyżej „punktu równowagi ciśnienia”, podobnie jak worek oddechowy w aparatach o obiegu półzamkniętym, ciśnienie w układzie płuca-worek

The Navy is an institution assembling the largest group of professionally trained divers in Poland. However, this was not the sole reason for undertaking the above subject matter, as in comparison with other specialists this group is not that numerous. The reason was quite different. The impact of various working conditions provided by the aquatic environment remains in such a sharp contrast with the working conditions on the land that in many cases it is underestimated or improperly understood. For this reason it was our intention to analyse some of the issues associated with the effects of the aquatic environment on divers' efficiency. It should be noted that the discussed issue is of real practical significance despite a considerable lack of information in the available literature.

When undertaking the research in question, we were aware of the difficulty related to finding a satisfactory solution, as in line with the established opinion it seemed quite unlikely that we would obtain a reliable efficiency evaluation, either generally or specifically, on the basis of only several simple indicators or physiological trials.

Even when we take into account the fact that certain adaptive features may develop and be revealed not only during an effective performance of work under water but also during an idle stay in the aquatic environment if it is repeated frequently enough, even at larger depths and therefore under a higher pressure.

A significant role in this regard is played by the following factors: immersion in water, the necessity to use diving apparatus, and the effect of an increased pressure. These three elements impose an unusual burden on the respiratory organs and induce changes in the work of the cardio-vascular system as compared with the conditions present on the surface/in normobaria.

The essential mechanism behind the effect of diving on respiratory functions may be presented on the basis of an impact of immersion on a diver's organism and an increased density of a breathing mix. At the same time it should be emphasised that the influence of immersion on breathing is largely dependent on the type of diving equipment, whereas the density of the breathing mix, in the simplest case being air, is directly related to the diving depth. The effect of each of these two factors on a diver's organism may be depicted as The aforementioned negative pressure will move the balance point above the determined 30% threshold of pulmonary vital capacity. This, on the other hand, will cause breathing to be less energetically efficient, as the most favourable scope falls between 30% and 80% of the said vital capacity (VC). Between these values the slightest effort of the respiratory muscles may evoke the greatest alteration in pulmonary vital capacity. In other words, gas exchange in the said range is the most energy-efficient.

Unfortunately, the breathing bag is rarely placed exactly at the height of the "pressure balance point", similarly as it is in the case of open circuit scuba. In extreme situations when the deviations from the "balance point" exceed 20 cm, the effect is a painfully felt discomfort during breathing.

With positive pressure, i.e. when the "bag or rebreather" is positioned too low, what happens is an unintentional filling of the lungs if the diver counteracts it with an expiratory effort. Under these circumstances the inhalation takes place with a gradual decrease of expiratory effort. This causes respiratory muscles to be forced not only to perform harder work but also to continue it during both breathing phases (instead of a single inhalation phase).

oddechowy będzie niższe, a więc ujemne i nie będzie równoważyło ciśnienia wywieranego przez wodę na klatkę piersiową. Płetwonurek zostaje więc zmuszony do stałego wysiłku wdechowego. Ciśnienie ujemne o którym wspomniano, przesunie punkt równowagi poniżej 30% wypełnienia pojemności życiowej płuc. Spowoduje to, że oddychanie będzie przebiegało w zakresie energetycznie mniej wydajnym, gdyż najkorzystniejszy przedział znajduje się w zakresie 30% a 80% wypełnienia pojemności życiowej /VC/. Pomiędzy tymi wartościami najmniejszy wysiłek mięśni oddechowych powoduje największą zmianę objętości życiowej płuc. Innymi słowy w tym przedziale wymiana gazowa jest energetycznie najbardziej efektywna.

Niestety worek oddechowy rzadko znajduje się dokładnie na wysokości „punktu równowagi ciśnienia”, podobnie jak automaty w aparatach oddechowych o obiegu otwartym. W przypadkach skrajnych, gdy odchylenia od „punktu równowagi” przekraczają 20 cm, powoduje to dotkliwie odczuwalną niewygodę w oddychaniu.

Przy dodatnim ciśnieniu a więc gdy „worek lub automat oddechowy” jest umieszczony zbyt nisko, następuje niezamierzone wypełnienie płuc, jeśli nurek przeciwstawia się temu wysiłkiem wydechowym. W tych warunkach wdech następuje przy stopniowym zmniejszeniu wysiłku wydechowego.

Powoduje to, że mięśnie oddechowe mogą być zmuszone nie tylko do ciężkiej pracy, ale również do jej kontynuowania podczas obu faz oddychania /zamiast jednej fazy wdechu/. Mimo to brak równowagi i wytwarzane ciśnienia dodatnie w płucach jest mniej męczące aniżeli brak równowagi przy ciśnieniu ujemnym. /Wpływ ciśnienia ujemnego obserwujemy m.in. podczas pływania z rurką oddechową/. Przedstawione powyżej informacje odnośnie wymiany oddechowej płetwonurków uwzględniają wpływ zanurzenia.

Drugi z kolei czynnik różnicujący oddychanie pod ciśnieniem od oddychania w warunkach normalnych to jest w normobarii, to zwiększona gęstość mieszaniny oddechowej. Powietrze wdychane przez nurka, zgodnie z zasadą wyrównanego ciśnienia posiada gęstość zwiększoną proporcjonalnie do głębokości nurkowania. Z kolei gęstość ma istotne znaczenie dla charakteru przepływu gazów, który może być określony na podstawie liczby Reynolds'a:

$$Re = \frac{\rho v R}{\eta}$$

ρ – gęstość /g cm⁻³ /

v – średnia szybkość przepływu /cm sek⁻¹ /

R – średnia przepływu /cm/

η - współczynnik lepkości /g cm⁻¹ /.

Wyznaczona eksperymentalnie tzw. Wielkość krytyczna Reynolds'a 2320 określa rodzaj przepływu. Poniżej tej wielkości przepływ jest zwykle laminarny, powyżej zazwyczaj turbulentny. W ocenie mogą istnieć pewne odchylenia, ponieważ istotną rolę odgrywa morfologia dróg oddechowych.

W odniesieniu do oceny przepływu powietrza przez drogi oddechowe stoimy przed problemem szczególnym. W rzeczywistości bowiem drzewo oskrzelowe posiada wielką ilość stopniowych rozgałęzień, z których każde powoduje zmianę kierunku przepływu. Ponadto nie jest stała średnica różnych kolejnych odcinków. Różnią się one również długością. Wreszcie średnica dróg oddechowych ulega cyklicznym zmianom, które towarzyszą rytmowi oddechowemu. Warunki powyższe są więc szczególne nie tylko pod względem geometrycznym ale również pod względem dynamicznym,

Despite this, the lack of balance and the produced positive pressure in the lungs is less exhausting than the lack of balance in the condition of a negative pressure. (The impact of negative pressure is observed, for instance when swimming with a snorkel) The above information regarding gas exchange in divers takes into account the impact of immersion.

The second factor, differentiating breathing under pressure from that of breathing under normal conditions in normobaria, is an increased density of a breathing mix.

The density of air inhaled by a diver, in accordance with the principle of levelled pressure, is proportionally increased to the depth of diving. Density is significant in defining the nature of gas flow, which may be done on the basis of Reynolds number, where:

$$Re = \frac{\rho v R}{\eta}$$

ρ – density /g cm⁻³ /

v – average flow rate /cm sec⁻¹ /

R – average flow /cm/

η - viscosity coefficient /g cm⁻¹ /.

The experimentally determined so-called critical Reynolds value 2320 determines the type of flow. Below this value the flow is usually laminar, whereas above – turbulent. It is possible for certain deviations to occur in the evaluation due to the important role of the morphology of the respiratory tract.

With regard to air flow evaluation through the respiratory tract we are faced with a particularly interesting problem, as in reality, the bronchial tree possesses a large number of branches, each of which causes a change in the flow's direction. Moreover, particular segments vary with respect to their diameters and lengths.

Finally, the diameter of the respiratory is subject to cyclic changes accompanying the respiratory rhythm. Thus, the above conditions are crucial not only with regard to the geometric issues but also to the dynamics, as the flow is highly differentiated in the section between the trachea and small bronchioles.

For these reasons the Reynolds number indicates varying values at the entire length of the bronchial tree. Already while at rest the air flow in the respiratory tract is in some sections laminar, while in other turbulent.

A classic work by Rohrer (1915) suggested that the ΔP value (the difference between alveolar pressure PA and the pressure at the mouth) in the respiratory tract may be presented as a sum of two components – the laminar and turbulent flow.

$$\Delta P = K_1 V + K_2 V^2$$

$K_1 V$ represents laminar flow in accordance with Hagen-Poiseuille's relation, whereas $K_2 V^2$ expresses turbulent flow. This description is approximate to Mead's postulate [9]. Therefore, an increased ventilation flow, or hyperventilation, is accompanied with an increased turbulent reaction. In those sections where the rest flow was laminar, during hyperventilation it will become turbulent.

Such phenomena are reflected in the physiology of breathing under water. Breathing with compressed air, following the principle of pressure levelling (in the respiratory tract at ambient pressure) results in an inhalation of air of higher density.

The Reynolds number (which takes this value into account) increases at the entire length of the bronchial tree

gdyż przepływ jest mocno zróżnicowany na odcinku pomiędzy tchawicą i drobnymi oskrzelikami.

Z powyższych względów liczba Reynoldsa ma zmienne wartości na całej długości drzewa oskrzelowego. Przepływ powietrza w drogach oddechowych już nawet podczas oddychania spoczynkowego na powierzchni przebiega na pewnych odcinkach w sposób laminarny na innych turbulentny.

Klasyczna praca Rohrer'a /1915/ sugerowała, że wartość ΔP /różnica między ciśnieniem pęcherzykowym PA i ciśnieniem przy wargach/ w drogach oddechowych może być przedstawiona jako suma dwóch składowych – przepływu laminarnego i turbulentnego.

$$\Delta P = K_1 V + K_2 V^2$$

$K_1 V$ reprezentuje przepływ warstwowy zgodnie z zależnością Hagen-Poiseuille'a, podczas gdy $K_2 V^2$ określa przepływ turbulentny. Opis ten ma charakter przybliżony na co zwraca uwagę Mead [9]. Zwiększonemu przepływowi wentylacyjnemu lub hiperwentylacji towarzyszy więc zwiększenie reakcji turbulentnej.

Na tych odcinkach, w których przepływ spoczynkowy był laminarny, podczas hiperwentylacji staje się on turbulentny. Zjawiska te w pełni porównywalnie znajdują odniesienie w fizjologii oddychania pod wodą. Oddychanie sprężonym powietrzem zgodnie z zasadą wyrównania ciśnienia /w drogach oddechowych z ciśnieniem tocznia/ powoduje wdychanie powietrza o zwiększonej gęstości. Liczba Reynoldsa /w której uwzględniona jest ta wartość/ wzrasta na całej długości drzewa oskrzelowego w tym samym odniesieniu.

Z punktu widzenia aerodynamiki, oddychanie w spoczynku na głębokości 40 m odpowiada hiperwentylacji na powierzchni, gdyż szybkość przepływu powietrza może być przyrównana do przepływu 5-krotnie większego. Innymi słowy, normalnemu oddychaniu na głębokości 40 m towarzyszy wzrost reakcji turbulentnej w takim stopniu jak gdyby miała miejsce hiperwentylacja na powierzchni.

Podczas przepływu turbulentnego opory są znacznie większe aniżeli przy przepływie laminarnym. Tak więc przy hiperwentylacji zwiększenie oporów przepływu może prowadzić do przekroczenia możliwości energetycznych mięśni oddechowych. Wentylacja niewystarczająca dla pokrycia potrzeb ustrojowych jest hypowentylacją.

Uważa się, że podczas oddychania w warunkach hiperbarii hipowentylację mogą powodować przynajmniej dwa czynniki: wzrost gęstości mieszaniny oddechowej, co zostało przedstawione, oraz zwiększona szybkość przepływu w następstwie wentylacji wysiłkowej.

W wyniku tego, hypowentylacja może wystąpić na niewielkiej głębokości podczas wysiłku oraz na dużej głębokości nawet w spoczynku.

W obu przypadkach dodatkowym czynnikiem sprzyjającym powstaniu hypo-wentylacji jest opór przepływu w aparacie nurkowym.

Następstwa hypowentylacji są takie jak je opisuje klinika tradycyjna, hiperkapnia, wzrost wyrzutu sercowego, ciśnienia tętniczego, ciśnienia śródczaszkowego. Nie występuje tu tylko hipoksemia, która towarzyszy hypowentylacji na powierzchni, ponieważ w powietrzu wdychanym pod ciśnieniem tlen znajduje się pod zwiększonym ciśnieniem cząstkowym.

Jak więc należy ocenić możliwości kontynuowania dużego wysiłku fizycznego w normobarii i hiperbarii

to the same extent. From the point of view of aerodynamics, breathing at rest at the depth of 40 m corresponds to hyperventilation at the surface, as the flow rate of air may be compared to a flow that is 5 times higher. In other words, normal breathing at the depth of 40 m is associated with an increase in the turbulent reaction to such an extent as it is the case with hyperventilation experienced at the surface.

During turbulent flow the resistance is much higher as compared with laminar flow. For this reason, a growing flow resistance during hyperventilation may lead to the exceeding of the energetic possibilities of the respiratory muscles. Ventilation insufficient to compensate for the needs of an organism is known as hypoventilation. It is believed that in hyperbaric conditions hypoventilation may be induced by at least two factors: an increase in the density of a breathing mix, which was depicted above, and an increased flow rate as a result of an effort-related ventilation.

Consequently, hypoventilation may occur both at a shallow depth during an effort as well as at a greater depth, even when at rest.

In both cases an additional factor which may be conducive to the occurrence of hypoventilation is flow resistance in a diving apparatus.

The after-effects of hypoventilation are those described by traditional clinical medicine: hypercapnia, an increase in cardiac output, arterial pressure and intracranial pressure.

The only absentee is hypoxaemia, which accompanies hypoventilation at the surface, due to the fact that in the air inhaled under pressure oxygen partial pressure is increased.

How, therefore, should we evaluate the possibility of continuing a large physical effort in normobaric and hyperbaric conditions in the light of the above data? It is believed that during an effort made at the surface one of the most significant values determining diver's efficiency, namely oxygen consumption per minute ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) is limited by cardiovascular factors as well as lactic acid concentration.

In hyperbaric oxygenation, limitation of activity depends to a large extent on the alveolar pressure level $CO_2(P_{ACO_2})$ that a diver can tolerate. Also, of great importance is Lanphier's statement [5] that in the situation when the factor limiting the effort is ventilation, it may be maintained over longer periods as it is the case in the limitation caused by cardiovascular factors. According to the above data it is possible to formulate the following theses. Whereas under normobaric conditions general efficiency is reflected by maximal oxygen uptake and limited by the cardiac output, in diving (hyperbaric conditions) it is limited by ventilation possibilities. Gas density increases the resistance in the respiratory tract, while the differences in eupneic and hydrostatic pressures disturb the elastic properties of the lungs-chest system. This leads to an increased level of CO_2 in the alveoli and arteries, thus causing effort reduction.

Based on the above data indicating that during the work performed under water the efficiency level is limited, first of all, by the efficiency of the respiratory system, it was decided to conduct a study on divers aimed at revealing possible adaptive changes in the respiratory system to undertaking an effort under water. At the same time it was determined that the performed tests should be available, so that in the case of proven usefulness they could be recommended for broader application. The study was

w świetle przytoczonych danych? Uważa się, że podczas wysiłku na powierzchni jedna z najistotniejszych wielkości określających wydolność a mianowicie minutowe zużycie tlenu $\dot{V}O_2 \text{ max}$, jest ograniczone przez czynniki sercowo-naczyniowe oraz stężenie kwasu mlekowego. W hiperbarii ograniczenie aktywności zależy w dużej mierze od poziomu pęcherzykowego $CO_2/PACO_2$, jakie nurek może jeszcze tolerować. Niezmiernie ważne jest również stwierdzenie Lanphier'a [5], że w przypadku gdy czynnikiem ograniczającym skrajny wysiłek jest wentylacja, może on być utrzymany przez dłuższe okresy aniżeli przy ograniczeniu przez czynniki sercowo-naczyniowe.

Z przytoczonych danych wynikają następujące stwierdzenia. O ile w warunkach normobarii wydolność ogólna znajduje swój odpowiednik w pułapie tlenowym i jest ograniczona pojemnością minutową serca, w nurkowaniu /hiperbarii/ jest ograniczana możliwościami wentylacyjnymi. Gęstość gazu zwiększa opór w drogach oddechowych, natomiast różnice w ciśnieniu eupneicznym i hydrostatycznym zakłócają właściwości elastyczne układu płuca-klatka piersiowa. Prowadzi to do wzrostu pęcherzykowego i tętniczego poziomu CO_2 ograniczając wysiłek.

Opierając się na przytoczonych danych z których wynika, że podczas pracy pod wodą poziom wydolności jest ograniczony w pierwszym rzędzie wydolnością układu oddechowego, postanowiono przeprowadzić badania płetwonurków, których celem byłoby ujawnienie ewentualnych zmian przystosowawczych w układzie oddechowym do podejmowania wysiłku pod wodą. Równocześnie ustalono, że mają to być próby dostępne, tak aby w przypadku stwierdzenia ich przydatności mogły być zalecone do szerszego stosowania. Postanowiono więc posłużyć się znanymi próbami stosowanymi do oceny i określenia sprawności układu oddechowego oraz próbami do równoległego określenia zmian hemodynamicznych i oddechowych.

Badanych płetwonurków podzielono na dwie grupy. Do grupy pierwszej zaliczono instruktorów, z których większość posiadała kilkuletni staż zawodniczy. Do drugiej grupy zaliczono kursantów po 2-miesięcznym okresie szkolenia, uprzednio nie nurkujących.

W badaniach postanowiono uwzględnić pomiar VC. Następnie postanowiono określić maksymalną wentylację dowolną MVV_{15} , ponieważ wielkość ta zdaniem niektórych badaczy [5] jest przydatna do szacunkowej oceny maksymalnej efektywnej wentylacji $\dot{V}_e \text{ max}$. Zrezygnowano natomiast z określenia maksymalnego czasu zatrzymania oddechu, ze względu na małą wiarygodność danych uzyskanych na tej drodze [7], a postanowiono posłużyć się próbą Flacka jako bardziej obiektywną i szczególnie cenną w kwalifikowaniu płetwonurków.

based on popular tests used in the evaluation of efficiency of the respiratory system and the determination of hemodynamic and respiratory changes.

The subjects of the study were divided into two groups. The first group consisted of diving instructors, most of whom had a professional experience of several years. The second group included trainee divers with 2-months' training and without prior experience in this area. The study was to take into account the VC measurement.

Next, it was decided to determine maximal voluntary ventilation (MVV_{15}), as according to some researchers [5] it is valuable in the assessment of maximal effective ventilation ($\dot{V}_e \text{ max}$). However, the determination of maximal breath-holding time was omitted due to little credibility of the obtained data [7] and a decision was made to apply the Flack test as a more objective and particularly valuable method in diver qualification.

METODYKA**METHODOLOGY**

Tab. 1

Oznaczono:

The determined parameters:

Vital capacity /VC/

Due vital capacity /VC/ acc. to Cournand

Maximal expiratory force /P_e max/

Due maximal voluntary ventilation /MVV/ acc. to Baldwin

Flack test

Maximal voluntary ventilation "MVV₁₅" with the use of diving apparatus and a "Mors" rebreather

At the pressure of 1 ata

At the pressure of 2 ata

At the pressure of 4 ata

Measurements performed on the basis of height and weight from calculation tables acc. to Cournand's formula [4];

With the use of a precise spring manometer /indication accuracy of 5 mm Hg/;

On the basis of the formula $MVV = /86.5 - 0.552 \times \text{age} / \times \text{body surface} / \text{m}^2$;40 sec. Breath held at an inhalation at P₃ 40 mm Hg with pulse changes evaluation acc. to Flack's table [4];

Volume of exhaled air determined on the basis of pressure drop in the cylinder with compressed air;

Measurement carried out in a pressure chamber

Measurement carried out in a pressure chamber

WYNIKI

Cechy fizyczne płetwonurków zakwalifikowanych do grupy instruktorów zostały przedstawione w tabeli 2, natomiast cechy fizyczne kursantów w tabeli 3. Średnie wielkości maksymalnej wentylacji dowolnej „MVV₁₅” w aparacie „Mors” oznaczone na powierzchni i w hiperbarii przedstawiono w tabeli 4. Tabela 5 zawiera ocenę statystyczną wyników grupy instruktorów i kursantów.

RESULTS

The physical properties of divers qualified into the instructor group are presented in table 2, whereas the physical properties of the group of trainee divers are in table 3. The average values of maximal voluntary ventilation "MVV₁₅" for the "Mors" rebreather measured at the surface and under hyperbaric conditions are shown in table 4. Table 5 contains statistical evaluation of the results of both groups.

Tab. 2.

Cechy fizyczne grupy instruktorów.

Physical properties of the group of instructors.

1. Number of subjects	7
2. Height /cm/	179-182
3. Weight /kg/	70-79
4. Age	26-31
5. VC /ml/	5400/4500-6100/
6. VC /ml/ acc. to Cournand's formula	4300/4100-4450/
7. $\Delta VC / 5 - 6 / \%$	+20
8. P _e max /mm Hg/	202/195-210/
9. Flack test / group /	I
10. MVV ₁₅ /l/min/ acc. to Baldwin's formula	136/128-145/

Cechy fizyczne grupy kursantów.

Physical properties of the group of trainee divers.

1.	Number of subjects	7
2.	Height /cm/	167-179
3.	Weight /kg/	57-80
4.	Age	20-22
5.	VC /ml/	5000/4200-7000/
6.	VC /ml/ acc. to Cournand's formula	4400/4300-4600/
7.	Δ VC / 5 - 6/ %	+12
8.	P _e max /mm Hg/	140/110-170/
9.	Flack test / group /	I-III
10.	MVV ₁₅ /1/min/ acc. to Baldwin's formula	135/123-150

Tab. 4.

Średnie maksymalnej wentylacji dowolnej "MVV₁₅" w aparacie „Mors” na powierzchni i w hiperbarii.The average values of maximal voluntary ventilation "MVV₁₅" for the "Mors" rebreather measured at the surface and in hyperbaric oxygenation.

	Pressure ata	Number of tests	"MVV15" 1/min x	%	Stand error	E
Instructors	1	14	145 ± 18.0	100	4.8	
	2	14	88 ± 12.2	61	3.2	
	4	14	65 ± 12.0	45	3.1	
Trainee divers	1	28	138 ± 9.1	100	3.4	
	2	28	87 ± 6.8	63	2.6	
	4	28	54 ± 6.9	39	2.6	

Tab. 5.

Ocena statystyczna wyników.

Statistical evaluation of the results.

	Instructors x	Trainee divers x	Statistical significance of Student's t-test
Spirometry /ml/	5400	5000	Insignificant differences
"MVV ₁₅ " at 1 ata/1/min	145	138	Insignificant differences
"MVV ₁₅ " at 2 ata/1/min	88	87	Insignificant differences
"MVV ₁₅ " at 4 ata/1/min	65	54	Insignificant differences
P _e max /mm Hg/	202	140	Significant differences /6.0 t/
[S1]Flack test /group/	I	I-III	Other classification

DYSKUSJA

Jak wynika z tabeli 2, grupę instruktorów liczącą 7 osób charakteryzuje wysoka pojemność życiowa /VC/ równa 5400 ml, wyższa o około 20% od pojemności należnej obliczonej wg wzoru Cournanda. Tego rodzaju różnica jest typowa zdaniem niektórych badaczy dla osób czynnie uprawiających sport bez uwzględnienia uprawianej dyscypliny.

Za wielkość charakterystyczną można uznać wartość maksymalnej siły wydechu P_e max wyrażonej w mm Hg, która to wielkość wynosi średnio 202 mm i wykazuje niewielkie odchylenia u poszczególnych badanych. Warto podkreślić, że za wartość prawidłową uznaje się 60 - 100 mm Hg [12]. Również korzystnie charakteryzuje badanych próba Flacka, w której nie

DISCUSSION

As it results from table 2, the group of instructors consisting of 7 subjects is characterised by a high vital capacity (VC) reaching 5400 ml, i.e. ca. 20% higher from due capacity calculated according to Cournand's formula. In the opinion of some researchers, such a difference is typical of people actively participating in sports, regardless the type of discipline.

A characteristic value is that of maximal exhalation force P_e expressed in mm Hg, which on average amounts to 202 mm and reveals slight deviations in particular subjects. It is worth noting that the value regarded as correct is estimated at 60 - 100 mm Hg [12]. Another favourable characterisation of the subjects was obtained with the Flack test, which did not indicate disruptions in the pulse of the researched divers under the

wpływem działania nadciśnienia płucnego o wartości 40 mm Hg podczas zatrzymanego oddychania.

W wybranej losowo grupie kursantów / po 2-miesięcznym okresie szkolenia/ znajdowali się płetwonurkowie młodszy o kilka lat aniżeli w grupie poprzedniej oraz o nieco mniejszym ciężarze ciała. Podobnie jak w grupie pierwszej tu również stwierdzono wyższą pojemność życiową /VC/ aniżeli obliczona wg wzoru Cournanda. Jednakże ustalona różnica była mniejsza i przewyższała obliczoną wg wzoru wartość o 12%. Średnia maksymalnej siły wydechu / P_e max/ wynosiła w tej grupie 140 mm Hg, a więc również mniej aniżeli w grupie instruktorów.

Wynik próby Flacka był także mniej korzystny, ponieważ nie wszyscy badani zostali zakwalifikowani do grupy pierwszej. Średnia wartość maksymalnej wentylacji dowolnej /"MVV₁₅" tab. 4/ oznaczone przy ciśnieniu 1 ata były wyższe w obu grupach od wartości obliczonych wg wzoru Baldwina [4] mimo, że zostały oznaczone przy pomocy sprzętu charakteryzującego się znacznymi oporami przepływu. Uwzględniając warunki przeprowadzania próby wskazywałoby to na dużą sprawność narządu oddechowego w obu grupach, mimo że za pomocą wzoru Baldwina uzyskuje się wyniki zbyt niskie.

Pomiary wykonane przy zwiększonym ciśnieniu 2 i 4 ata wykazały znamienne obniżenie wentylacji w miarę wzrostu ciśnienia. Przy ciśnieniu 4 ata maksymalna wentylacja dowolna „MVV₁₅” obniżyła się w grupie instruktorów do 45% wartości wyjściowej zaś w grupie kursantów do 39%.

Tabela 5 przedstawia porównanie uzyskanych wyników oraz ocenę statystyczną znamienności różnic pomiędzy obu grupami zarówno w pomiarach spirometrycznych jak i w wartościach „MVV₁₅” pomimo, że wartości uzyskane przez grupy instruktorów były we wszystkich wypadkach wyższe. Wyniki spirometryczne grupy instruktorów nie odbiegają od wartości podawanych w piśmiennictwie dla instruktorów amerykańskich, u których średnia wartość VC wynosiła 5600 ml [1].

Stwierdzone obniżenie MVV w funkcji ciśnienia można przedstawić jako proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z wartości ciśnienia wyrażonego w ata. Na zależność tę zwrócił uwagę Cotes a potwierdził Miles, Wood, Maio, Fahri i inni [2,8,10,13]. Wielkość MVV określana przez tych badaczy w sprzęcie niskooporowym wynosiła przy ciśnieniu 4 ata około 50% wartości wyjściowej. W naszym przypadku przy użyciu aparatu „Mors” uzyskaliśmy 45% i 39% wartości wyjściowej. Jest to odchylenie w prawdzie nie duże, należy jednak uwzględnić również tę okoliczność, że wartość odniesienia przy użyciu aparatu „Mors” była niższa.

Znamienne różnice stwierdzono natomiast w wartościach maksymalnej siły wydechu P_e max. Również odmienne oceny wykazało porównanie wyników próby Flacka, gdyż grupę kursantów charakteryzował większy rozrzut ocen.

Nasuwa się więc pytanie jak należałoby interpretować stwierdzone różnice w średnich wartościach maksymalnego ciśnienia wydechu, w teście Flacka oraz jak wyjaśnić brak różnic w wartościach „MVV₁₅”.

Wyższe wartości maksymalnego ciśnienia wydechu wydają się być wyrazem adaptacji mięśni klatki piersiowej instruktorów do warunków utrudnionej wentylacji z jaką spotykają się podczas nurkowania. Przemawia za tym również znaczne przekroczenie wartości przyjętej za normę, jak i uzyskanie wyników znacznie wyższych aniżeli w grupie kursantów.

impact of pulmonary hypertension of 40 mm Hg during breath holding.

The randomly selected group of trainees (having completed 2-months' training) included divers several years younger than the member of the previous group and characterised by a slightly lower body weight. Similarly to the first group, the vital capacity (VC) in this group was higher than that calculated acc. to Cournand's formula. However, the determined difference was smaller and exceeded the value calculated acc. to the formula by 12%. The mean value of maximal exhalation force (P_e max) in

this group reached 140 mm Hg, i.e. less than in the instructor group. The result of the Flack test was also less favourable, as not all of the subjects were qualified to the first group. The mean values of maximal voluntary ventilation ("MVV₁₅" tab. 4) measured in both groups at the pressure of 1 ata were higher than the values calculated acc. to Baldwin's formula [4] despite their marking with the use of equipment characterised by significant flow resistance. With the consideration of the conditions in which the tests were carried out, the obtained results indicated high efficiency of the respiratory organs in both groups, even though the results achieved with the use of Baldwin's formula were too low.

The measurements performed at an increased pressure of 2 and 4 ata showed significant ventilation reduction with the pressure rise. At 4 ata, maximal voluntary ventilation "MVV₁₅" was reduced in the instructor group to 45% of the initial value, whereas in the trainee group to 39%.

Table 5 shows a juxtaposition of the obtained results and statistical evaluation of the significance of differences between both groups, both with regard to spirometry measurements and the "MVV₁₅" values, despite the fact that the values obtained by the group of instructors were in all cases higher. The spirometry results of the instructor group do not differ from the values provided in literature with regard to American instructors, in whom the average VC value amounted to 5600 ml [1].

The observed MVV decrease in the function of pressure may be presented as proportional to the square root of the pressure value expressed in ata. This relation was first noted by Cotes and confirmed by Miles, Wood, Maio, Fahri and others [2,8,10,13]. The MVV value determined by these researchers in low-resistance equipment reached ca. 50% of the initial value at the pressure of 4 ata. In the case of our studies conducted with the use of the "Mors" rebreather, the obtained results reached 45% and 39% of the output value. Although such a deviation is not large, it is still necessary to take into account the fact that the reference value for the "Mors" apparatus was lower.

Significant differences, on the other hand, were noted in relation to the values of maximal exhalation force P_e max. Also, different evaluations were obtained in the comparison of Flack test results, as the group of trainees was characterised by a higher diversity of evaluations.

Hence, we might issue a question on how to interpret the observed difference in the mean values of the maximal exhalation pressure in the Flack test and how to explain a lack of difference in the values of "MVV₁₅".

Higher values of maximal exhalation pressure seem to be a sign of an adaptation of chest muscles of diving instructors to the conditions of an impeded ventilation experienced in the course of diving. This is confirmed by the fact of a significant exceeding of the value adopted as a norm, as well as obtaining results that are

Różnice między obu grupami w ocenie przy pomocy testu Flacka przy jednoznacznej ocenie wszystkich płetwonurków w grupie instruktorów wydają się być w głównej mierze wyrazem selekcji jaka następowała w tej grupie. Grupę instruktorów stanowią bowiem płetwonurkowie o kwalifikacjach zawodniczych, którzy nie mogliby uzyskiwać wartościowych wyników w nurkowaniach sportowych nawet przy nieznanymi zaburzeniach układu krążenia. Nie można jednak wykluczyć rozwinięcia się zmian dostosowawczych, wskazujących na wysoki stopień wytrenowania tej grupy.

Brak statystycznie znamiennej różnicy w wartościach „MVV₁₅” wydaje się wynikać z kilku powodów, wśród których być może największą rolę odgrywa krótki czas trwania próby. Jak bowiem podaje Varene, jeżeli pomiar jest prowadzony w czasie 4 minut a nie podczas 15 sek., uzyskiwane wartości są znacznie niższe i charakteryzują się większym rozrzutem. Zosche, Fritts, Cournand [3,5] stwierdzili spadek maksymalnej wentylacji $\dot{V}_{e\max}$ do 53% wartości „MVV₁₅” podczas 15-minutowego wysiłku oddechowego wykonywanego bez dodatkowego obciążenia czynnikami środowiska /imersja, gęstość gazu, opory aparatu/.

Nie jest więc wykluczone, że wyniki instruktorów w miarę przedłużania czasu próby lub dalszego wzrostu ciśnienia wykazywałyby większe odchylenia od wyników kursantów. Niestety w chwili obecnej w odpowiedzi na to pytanie nie możemy przytoczyć konkretnych argumentów. Przemawiałaby jednak za tym wysoka sprawność instruktorów w nurkowaniach wytrzymałościowych i szybkościowych w porównaniu z innymi nurkowaniami. Równocześnie jednak odgrywa tu rolę jeszcze drugi czynnik, chociaż zależny od pierwszego, a mianowicie możliwość kontynuowania wysiłku przy wysokim poziomie pęcherzykowego CO₂/PACO₂/, do czego są zdolni jedynie wytrenowani, doświadczeni nurkowie. Jak podaje Lanphier przy $\dot{V}_{CO_2} = 2,0$ l wysiłek mógł być utrzymany w jednym przypadku przez okres poniżej 30 minut a w innym przez ponad 60 minut, w zależności od tego czy pęcherzykowe PACO₂ wynosiło 40 mm Hg czy 60 mm Hg [5].

Równocześnie ten sam badacz stwierdził, że zwiększona tolerancja sprawia, że dobry nurek rzadko przestaje pracować w wyniku tego, że nie może utrzymać pęcherzykowego CO₂/PACO₂/ na poziomie 40 mm Hg, gdyż zmniejszona tolerancja na CO₂ umożliwia mu znoszenie znacznie wyższych poziomów. Ma to decydować według niektórych badaczy o wydolności w pracy podwodnej [5]. Potwierdza to pogląd, że wydolność ogólna jest zależna od poziomu wydolności poszczególnych układów, przy czym zależność ta jest niewątpliwie bardzo złożona i na razie niewymierna.

Odnosnie możliwości znoszenia wysokich poziomów CO₂ należy zaznaczyć, że jest to możliwe jedynie w aparatach powietrznych, ponieważ posługiwanie się tlenem lub mieszaninami wzbogaconymi w tlen przez płetwonurków o obniżonej wrażliwości chemoreceptorów na działanie CO₂ naraża ich w większym stopniu aniżeli innych na zatrucie tlenem [6].

Z przedstawionego materiału wynika jak trudnym problemem jest ustalenie kryteriów oceny wydolności płetwonurków oraz dobór odpowiednich wskaźników.

WNIOSKI

1) Wzrost gęstości gazów pod wpływem zwiększonego ciśnienia, stanowi najważniejszy czynnik ograniczający maksymalną wentylację dowolną płetwonurków, którą można uznać za wykładnik możliwości wentylacyjnych.

considerably higher than in the group of trainees.

The differences between both groups in relation to the assessment conducted with the use of the Flack test, with unequivocal evaluation of all divers in the instructor group, seem to be to a large extent an expression of the selection that took place in this group. Since the group of instructors consisted of divers with professional qualifications, who would not be able to obtain valuable results in sport diving even with unidentified disorders of the circulatory system. However, we may not exclude the development of adaptive changes indicating a high level of training of this group.

The lack of statistically significant differences in "MVV₁₅" values appears to stem from several reasons, among which the most important role may be played by test duration. According to Varene, if a measurement is conducted over the period of 4 minutes, and not over 15 sec, the obtained values are considerably lower and characterised by a larger diversification. Zosche, Fritts and Cournand [3,5] observed a drop in maximal ventilation ($\dot{V}_{e\max}$) to 53% of the "MVV₁₅" value during a 15-minute respiratory effort, performed without additional loading of environmental factors (immersion, gas density, equipment resistance). Thus, it cannot be excluded that the results the instructors obtained over a prolonged test period or a further increase of the pressure would manifest greater deviations than the group of trainees.

Unfortunately, at present we are unable to provide concrete arguments in response to this hypothesis. However, what would indicate this possibility are the skills of the instructors in endurance and speed dives as compared to other types of dives. At the same time, an important role is played by another factor, though dependent on the first one, namely the possibility to continue the effort at a high level of alveolar CO₂(PACO₂), of which only well-trained and experienced divers are capable. As stated by Lanphier at $\dot{V}_{CO_2} = 2.0$ l the effort would be possible to maintain only in the case of a period lasting less than 30 minutes or longer than 60 minutes depending on whether the alveolar PACO₂ amounted to 40 mm Hg or 60 mm Hg [5]. At the same time, this researcher confirmed that an increased tolerance resulted in few problems for experienced divers, rarely stopping their work as a result of an inability to maintain the alveolar CO₂ (PACO₂) at a level of 40 mm Hg, as the decreased tolerance to CO₂ allows them to endure much higher levels.

This, according to some researchers, determines the efficiency in underwater work [5]. It is confirmed with the opinion that general efficiency depends on the efficiency of particular systems, with this relation between extremely complex and thus far impossible to measure.

With regard to the capability to endure high CO₂ levels we must emphasise that it is only possible with the use of air apparatuses, as using oxygen or oxygen-enriched mixes by divers with a reduced sensitivity of chemoreceptors to CO₂ makes them more susceptible to oxygen toxicity than others [6].

The presented material serves to acknowledge the difficulty in establishing the criteria for assessing divers' efficiency and the selection of proper indicators.

CONCLUSIONS

1) The increase in gas density under the impact of an increased pressure constitutes a factor limiting maximal voluntary ventilation in divers, which may be seen as an exponent of ventilation possibilities.

2) However, the ventilation limits resulting from

2) Ograniczenia wentylacyjne wywołane warunkami środowiska nie u wszystkich wywołują jednakowy spadek wydolności.

3) W ocenie dwóch grup o niejednakowej sprawności, próbami różnicującymi okazały się: próba maksymalnego ciśnienia wydechu oraz próba Flacka.

environmental conditions do not induce an identical efficiency decrease in all people.

3) In the evaluation of two groups of varying capabilities the differentiating tests proved to be: the maximal exhalation pressure test and Flack test.

BIBLIOGRAPHY

1. Carey E.M, Schaefer K.E., Alys H.J.: J.Appl.Physiol. 8,51, 1956.
2. Cotes J.E.: Lung function. Blackwell, Oxford 1968.
3. Comroe H.J.: The lung. Year Book Med.Pub., Chicago 1965.
4. Koziorowski A.: Pulmonary function tests. PZWL, 1964.
5. Lanphier E.H.: in *Diving Physiology*. Bailliere, London, 1969.
6. Łokucijewski B., Doboszyński T.: Lek.Wojsk. 1972, 9:88.
7. Łokucijewski B., Doboszyński T.: Lek.Wojsk. 1972, 4:377.
8. Maio D.A., Farhi L.E.: J.Appl.Physiol, 1967, 23:687.
9. Mead J.: J.Appl.Physiol, 1963, 18:241.
10. Miles S.: Underwater medicine. Staples Press, London 1966.
11. Paton W.D.: J.Physiol, 1947, 106:119.
12. Sidrowicz W.: An outline of methodology of sport-medicine tests and counselling PZWL, Warsaw 1962.
13. Wood W.B.: Arch.Environ.Health, 1963, 7:47.

Romuald Olszański, Kazimierz Dęga

**TWÓRCA MEDYCyny PODWODNEJ I HIPERBARYCZNEJ W POLSCE [WSPOMNIENIE]
KMDR PROF. DR HAB. MED. TADEUSZ DOBOSZYŃSKI**



W sierpniu 2012 odszedł na wieczną wachtę, twórca i wieloletni Kierownik Zakładu Medycyny Podwodnej, Katedry Medycyny Morskiej, Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni - kmdr prof. dr hab. Tadeusz Doboszyński.

Miał piękną kartę żołnierskiej służby. W okresie II Rzeczypospolitej był uczniem Lwowskiego Korpusu Kadetów.

W okresie okupacji walczył w szeregach 6 Wileńskiej Brygady AK. Po wojnie był oficerem Służby Zdrowia Marynarki Wojennej, twórcą sukcesów w zakresie medycyny podwodnej i hiperbarycznej, wieloletnim nauczycielem akademickim WAM. W uroczystościach pogrzebowych na historycznym cmentarzu Marynarki Wojennej na Oksywiu wziął udział Zwierzchnik Sił Zbrojnych, Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej, Bronisław Komorowski.



Nad trumną prof. T. Doboszyńskiego przemawia Prezydent RP Bronisław Komorowski



Komandora Doboszyńskiego żegna grupa rekonstrukcyjna AK.

Ojciec Prezydenta, Zygmunt ps. „Kor” był przyjacielem i towarzyszem broni Tadeusza Doboszyńskiego ps. „Biały” w czasie, partyzanckich zmagani w szeregach Armii Krajowej na Wilenszczyźnie. Podczas Żałobnej Mszy, Prezydent uhonorował zmarłego Komandora, Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Kmdr prof. Tadeusz Doboszyński urodził się w 1927 r. w Lublinie. Pochodził ze znanej, ziemiańskiej rodziny. Jego ojciec był zawodowym wojskowym. Zmarł gdy syn miał trzy lata. Tadeusz rozpoczął naukę w Korpusie Kadetów im. Marszałka Józefa Piłsudskiego, we Lwowie. Niestety wojna przerwała mu naukę.



Herb rodziny „Abdank”.

W okresie okupacji trafił do Wilna, gdzie uczył się na tajnych kompletach i pracował. Zagrożony aresztowaniem wstępuje do leśnego oddziału Armii Krajowej i walczy w szeregach 6 Samodzielnej Brygady AK na Wileńszczyźnie w Oddziale „Solcza” kpt. c.c. „Tońka,” pododdziale por. Zygmunta Błazejewicza ps. „Zygmunt”.



Patron Lwowskiego Korpusu Kadetów
Marszałek Józef Piłsudski.



Kadet „Tadzio” Doboszyński.

„ Po rozkazie generała Okulickiego „Niedźwiadka” rozwiązującego Oddziały AK i rozformowaniu jednostki, żołnierze „Solczy” różnymi drogami przedostawali się na obszar prawobrzeżnej Polski. Jak wspominał Profesor Doboszyński „spoglądając na zdjęcia Akowskich-Kolegów, z perspektywy minionych lat, uświadamiam sobie, że chociaż już odeszli na wieczną wachtę, do końca nie ulegli w walce, o suwerenność ojczyzny”. W nowych, trudnych dla nich warunkach, uznali, że w tej walce, bronią skuteczniejszą od karabinu będzie wiedza, wykształcenie i jej ranga społeczna”. Kierując się tym, dokonali rzeczy wprost niewyobrażalnej. Nie tylko przetrwali, najcięższe lata stalinowskich prześladowań, ale wykazali się nieprzeciętnymi osiągnięciami. Z dziewięciu najbliższych mu kolegów czterech uzyskało tytuły profesorskie, pozostałych 4 dyplomy ukończenia uczelni akademickich».



Odznaki Lwowskiego Korpusu Kadetów.

Po wojnie Tadeusz, rozpoczyna naukę w Białymstoku i po uzyskaniu matury, rozpoczyna studia na Wydziale Farmacji Uniwersytetu Lubelskiego. Podczas studiów początkowo pracuje jako laborant, a następnie jako młodszy asystent. Dyplom magistra farmacji uzyskuje w 1949 roku.

Zostaje powołany na kurs przeszkolenia Oficerów Służby Zdrowia w Łodzi, po którym zostaje awansowany do stopnia porucznika i skierowany do zawodowej służby wojskowej. Obejmuje stanowisko Kierownika Pracowni w Laboratorium Sanitarно-Epidemiologicznym MW w Gdyni. Równolegle pełni obowiązki st. asystenta w Studium Wojskowym Akademii Medycznej w Gdańsku.

W 1961 roku na podstawie rozprawy p.t. „Badania nad składem aminokwasowym białek, krajowych konserw rybnych z zastosowaniem chromatografii bibułowej,” uzyskuje stopień naukowy doktora nauk medycznych.



Dyżur: nurkowie w komorach.



Z wizytą u prof. Jacquesa Cousteau we Francji.

Po tym awansie naukowym, przechodzi do Katedry Medycyny Morskiej WAM w Gdyni i obejmuje stanowisko Kierownika Zakładu Medycyny Podwodnej. W 1970 roku na podstawie dorobku naukowego i rozprawy pt: „Model, przebiegu dekompresji w nurkowaniach na mieszaninach tlenowo-azotowych,” uzyskuje w Akademii Medycznej w Gdańsku stopień doktora habilitowanego.

W pracy Autor, w pionierski sposób przedstawia współzależność, pomiędzy perfuzją tkankową, a wartością współczynników bezpiecznego przesycenia w nurkowaniach krótkotrwałych, opracowując zarazem algorytm określający sposób prowadzenia dekompresji.

Tytuł naukowy profesora otrzymał w 1987 roku. W międzyczasie odbywał liczne staże naukowe w ośrodkach hiperbarycznych Francji, Szwecji, Niemiec i Rosji.

W okresie pracy w Katedrze Medycyny Morskiej WAM, tematyką zainteresowania Profesora, były przede wszystkim problemy wpływu na ustrój człowieka środowiska gazowego w warunkach podwyższonego ciśnienia. Pionierskie doświadczenia w tym zakresie prowadził początkowo na zwierzętach doświadczalnych, a następnie z udziałem, nurków testerów. Do ważniejszych badań tego okresu należy zaliczyć metody dekompresji nurków przy pomocy kilku, odmiennych typów aparatów o obiegu półzamkniętym. Po ich przetestowaniu w komorach ciśnieniowych i w morzu, były one później wdrażane w działalności podwodnej. W ramach tematyki prowadzonych badań kmdr Doboszyński szeroko współpracował z zespołem technicznym Akademii Marynarki Wojennej, która dysponowała nowoczesnym zespołem komór ciśnieniowych.

Ważnym osiągnięciem Zakładu Medycyny Podwodnej WAM było opracowanie indywidualnego układu do podawania tlenu w komorze ciśnieniowej. Budowa tego układu i jego zastosowanie w systemie użytkowania komory, umożliwiło stosowanie tlenowej rekompresji leczniczej oraz testu tolerancji tlenowej. Metoda ta okazała się bardziej wiarygodna, niż stosowana dotychczas próba hipoksyczna. Uprościło to również i rozszerzyło możliwości terapii hiperbarycznej w komorach ciśnieniowych dla potrzeb klinicznych.



Kurs szkoleniowy dla medycyny podwodnej.



Pożegnanie ze służbą wojskową, w sali tradycji WAM.

Problem długotrwałego pobytu w habitatach pod wysokim ciśnieniem, pozostawał w świecie przez długi okres nierozwiązany, ze względu na wysoki procent powikłań w postaci choroby ciśnieniowej [do 40%]. Ponieważ inne ośrodki hiperbaryczne nie dysponowały w pełni bezpiecznym systemem dekompresji, w 1977 roku rozpoczęto w Zakładzie badania nad opracowaniem własnego systemu nurkowań saturowanych i postępowania rekompresyjnego.

Na podstawie uzyskanych badań w wieloletnim cyklu doświadczeń, pod kierunkiem prof. Doboszyńskiego zespół Katedry, wraz z zespołem technicznym Akademii Marynarki Wojennej opracował własny, bezpieczny system nurkowań saturowanych. W przeprowadzonych badaniach określono całokształt uwarunkowań umożliwiających wielodobowy pobyt w habitatach, pod wysokim ciśnieniem oraz pracy w środowisku wodnym na dużych głębokościach.

W oparciu o zweryfikowane założenia koncepcji Profesora opracowano również krajowy system nurkowań saturowanych z głębokości szelfu Bałtyckiego. System ten został później wykorzystany praktycznie w habitatach i dzwonach zaprojektowanych i wykonanych w Stoczni Szczecińskiej, gdzie podczas wielodniowej ekspozycji, nurkowie oddychali mieszaniną helioksową. Były to na owe czasy, pionierskie eksperymenty, pierwsze tego typu nurkowania w Kraju i nieliczne w Europie. Najtrudniejszym zagadnieniem wymagającym rozwiązania był problem dekompresji nurków.

Żegna Rektor WAM gen bryg prof. Henryk Chmielewski:

Profesor T. Doboszyński był współautorem wielu podręczników oraz współredaktorem „Patofizjologii nurkowania”, „Podstaw terapii hiperbarycznej”, oraz ponad 120 prac poświęconych, problematyce nurkowej drukowanych w specjalistycznych czasopismach. Był promotorem 6 rozpraw doktorskich i recenzentem wielu doktoratów, habilitacji oraz wniosków na stopień profesora. Był uznanym ekspertem w sprawach fizjopatologii nurkowania. Za swoją działalność uzyskał wiele nagród naukowych w tym Ministra Szkolnictwa Wyższego i Nauki, Ministra Obrony Narodowej oraz Rektorów Wojskowej Akademii Medycznej i Akademii Marynarki Wojennej. W 1977 roku wraz z zespołem Katedry został wpisany do Księgi Czynów Roku Nauki Polskiej. Ma na swoim koncie kilka patentów i wiele wdrożonych wniosków racjonalizatorskich. Był odznaczony Krzyżem Armii Krajowej, Krzyżem Oficerskim i Kawalerskim OOP, Złotym i Srebrnym Krzyżem Zasługi, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, Złotą Odznaką Zastużony Pracownik Morza, Medalem Za Zasługi dla Marynarki Wojennej oraz wieloma medalami resortowymi.

Człowiek nauki o szerokich horyzontach. Tytan pracy, humanista i erudyta, Prowadzone przez niego prace miały charakter interdyscyplinarny i uwzględniały lub wyprzedzały istniejące w tym zakresie trendy światowe. Zawsze otwarty i życzliwy dla młodzieży, dydaktyk i wychowawca. Na co dzień cechowały go życiowy optymizm i zdrowy marynarski humor.

W życiu pozazawodowym znawca literatury faktu, historii drugiej wojny światowej oraz historii międzywojennych jednostek kawaleryjskich. Znał na pamięć wszystkie przyśpiewki kawaleryjskie tzw. „żurawiejki” Był cenionym sportowcem. Przez wiele lat z powodzeniem reprezentował Wojsko Polskie w sportach zimowych, np. w biegu na 50 km. Szereg lat uprawiał sport jeździecki. Miał ulubionego konia "Kadryla" na którym jeździł przez kilkanaście lat.



25 lat bezinteresownej przyjaźni.

Odznaczony Złotą Odznaką Polskiego Związku Jeździeckiego. Przez wiele lat był aktywnym członkiem Stowarzyszenia Oficerów Marynarki Wojennej. Pozostawił po sobie wielu następców, wysokiej klasy specjalistów w zakresie medycyny podwodnej i hiperbarycznej, którzy z powodzeniem kontynuują Jego dzieło. Po przejściu na emeryturę, przez wiele lat pracował w Ośrodku Medycyny Hiperbarycznej GUMed w Gdyni.

