Nr 1 (70) 2020

ISSN 1734 -7009
e-ISSN 2084 - 0535

marzec march 2020

Polish – English
Bilingual Publication

Polish Hyperbaric Research

Kwartalnik
Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

Redaguje Zespół
Editorial Board

Redaktor Naczelny
Editor-in-Chief
Piotr Siermontowski
editor-in-chief@phr.net.pl

Redaktor Prowadzący/Korekta
Executive/Technical Editor
Małgorzata Samborska
editor@phr.net.pl
tel. +48/518 702 941

Tłumaczenia
Translator
Anna Wójtowicz

Redaktor tematyczny
Nauki Techniczne
Section Editor
Technical Sciences
dr hab. inż. Ryszard Kłos, prof. AMW
techeditor@phr.net.pl

Redaktor tematyczny
Nauki Medyczne
Section Editor
Medical Sciences
prof. dr hab. med. Romuald Olszański
mededitor@phr.net.pl

Redaktor językowy
Language Editor
Stephen Burke (English)

Redaktor statystyczny
Statistical Editor
Adam Olejnik
stateeditor@phr.net.pl

Redaktor archiwaliów
Archive Editor
Joanna Siermontowska
archiv@phr.net.pl

www.phr.net.pl
www.degruyter.com/view/j/phr

Kontakt z redakcją:
81 – 103 Gdynia 3
ul. Grudzińskiego 4
skr. pocz. 18
fax. +48 261 262 230
e-mail: phr@phr.net.pl

POLISH HYPERBARIC RESEARCH

ISSN 1734 – 7009

eISSN 2084 – 0535

PolHypRes jest indeksowane w bazach:

- BazTech
- Index Copernicus
- ARIANTA
- Polish Medical Bibliography/Polish Medical Library
- Baidu Scholar
- Celdes
- CNPIEC
- EBSCO Discovery Service
- WorldCat (OCLC)
- Google Scholar
- J-Gate
- Naviga (Softweco)
- ReadCube
- Ulrich's Periodicals Directory/ulrichsweb
- Primo Central (ExLibris)
- Summon (Serials Solutions/ProQuest)
- TDOne (TDNet)
- CNKI Scholar
- DOAJ (Directory of open access journals)
- Cabell`s Directory
- JournalTOCs
- POL-Index
- TEMA Technik und Management
- Case
- WanFang Data
- KESLI-NDSL
- Polish Scientific Journals Database
- (ESCI) Emerging Sources Citation Index

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 anglojęzyczna.
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 i zasady etyki publikacyjnej, redakcja stosuje procedury ujęte w diagramach Comittee of Publication Ethics (COPE). Ich zachowanie przez Autorów jest warunkiem publikacji artykułu.
Szczegółowa procedura na stronie www.phr.net.pl i https://publicationethics.org/resources.
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 included in the diagrams Comittee of Publication Ethics (COPE). Detailed information on exact procedures can be found at , https://publicationethics.org/resources.
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 fax. +48 261 262 230, email: phr@phr.net.pl
Publisher: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society 81-103 Gdynia 3,
ul. Grudzińskiego 4 box. 18 fax. +48 261 262 230, email: phr@phr.net.pl

© Copyright by Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, Gdynia 2020

Pewne prawa zastrzeżone. Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons CC BY-NC-ND 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 CC BY-NC-ND 3.0 Poland. The principles concerned with legal property are stipulated at www.phr.net.pl

Instytucja finansująca; Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

Stowarzyszenie Pożytku Publicznego KRS 0000066650

Sponsoring: Polish Hyperbaric Medicine & Technology Society

Rada Naukowa / Editorial Board

prof. Andrzej Buczyński M.D., Ph.D.; prof. Dariusz Bogucki D.Sc. Ph.D. (USA); prof. Ugo Carraro M.D., Ph.D. (Italy); prof. Grzegorz Cieślar M.D., Ph.D.; prof. Adam Charchalis D.Sc., 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); Wojciech Giermaziak Ph.D., Tadeusz Graczyk D.Sc.; Eng. associate prof.; prof Siergiej Gulyar M.D., Ph.D. (Ukraine); Grzegorz Kowalski D.Sc., Eng.; prof. Juliusz Jakubaszko M.D., Ph.D.; prof Arvils Lielvards Ph.D. (Latvia); prof. Sam Mesiano (USA); prof. Igor Murawow Ph.D. (Ukraine); prof. Motomu Nakashima D.Sc., Eng. (Japan); prof. Katarzyna Ostapowicz van Damme M.D. Ph.D. (Norway); prof. Manny Radomski (Canada); Norbert Rehlis MBBS, MIH, PhD. (Papua New Guinea), 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); Akin Toklu M.D. Ph.D. (Turkey); Wojciech Wiesner Ph.D. associate prof.; Ikuta Yasushi Ph.D. associate prof. (Japan); 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.

Do druku przyjmowane są artykuły w języku polskim, angielskim, rosyjskim. W przypadku innego języka konieczne jest dołączenie tłumaczenia na język angielski. W tekstach w języku polskim niedopuszczalne jest wtrącanie słów obcojęzycznych i zlepków słów polskich i angielskich „ponglish".

Materiał powinien być opracowany za pomocą edytora tekstów MS Word. 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 - biało 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.

Szczgółowa 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.

We accept for publication articles in Polish, English and Russian. In the case of other languages, it is necessary to include a translation into English.

The material should be prepared with the use of text editor software MS Word. 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.

Detailed instruction for authors is available at the PolHypRes website

POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH

2020 NUMBER 1(70)

List of content

EDITORIAL

P. Siermontowski, S. Skrzyński
Formal and professional requirements for medical, paramedical and technical staff of hyperbaric centres. Part 2…….... *p. 7*

TECHNOLOGY

A. Woźniak
The influence of the flushing method on the stable oxygen content in the SCR CRABE breathing loop in the decompression phase…… *p. 21*

MEDICINE

W. Wolański
Research on the possibility of treating streptococcal infections with hyperbaric oxygenation... *p. 43*

E. Eren, N. Yilmaz, F. Yildirim, O. Giray
Compensatory Paraoxonase and Arylesterase levels in Hyperbaric Oxygen Treatment of Sudden Sensorineural Hearing Loss……. *p. 47*

FROM BEHINDE THE IRON CURTAIN

A. Dolatkowski, K. Dęga, Stanisław Klajman, J. Torbus
Research on the time of visual muscular response in divers during diving……. *p. 53*

Sprawozdanie z XXI Konferencji Naukowej PTMITH…… *p. 59*

POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH

2020 NUMER 1(70)

Spis treści

REDAKCYJNY

P. Siermontowski, S. Skrzyński
Wymagania formalne i fachowe stawiane personelowi medycznemu, paramedycznemu i technicznemu ośrodków hiperbarycznych. Cz. 2…….... *str. 7*

TECHNOLOLOGIA

A. Woźniak
Wpływ metody płukania na stabilną zawartość tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego SCR CRABE w fazie dekompresji…….... *str. 21*

MEDYCYNA

W. Wolański
Badania nad możliwością leczenia zakażeń paciorkowcowych hiperbarią tlenową……... *str. 43*

E. Eren, N. Yilmaz, F. Yildirim, O. Giray
Poziomy kompensacyjne paraoksonazy i arylesterazy w leczeniu tlenem hiperbarycznym nagłej głuchoty czuciowo-nerwowej…….... *str. 47*

ZZA ŻELAZNEJ KURTYNY

A. Dolatkowski, K. Dęga, Stanisław Klajman, J. Torbus
Badania nad czasem reakcji wzrokowo-mieśniowej u nurków podczas nurkowania…… *str. 53*

Report from the 21th Jubilee Scientific Conference…….... *str. 59*

FORMAL AND PROFESSIONAL REQUIREMENTS FOR MEDICAL, PARAMEDICAL AND TECHNICAL STAFF OF HYPERBARIC CENTRES. PART 2

WYMAGANIA FORMALNE I FACHOWE STAWIANE PERSONELOWI MEDYCZNEMU, PARAMEDYCZNEMU I TECHNICZNEMU OŚRODKÓW HIPERBARYCZNYCH. CZ. 2

Piotr Siermontowski, Stanisław Skrzyński

Department of Underwater Works Technology, Naval Academy, Gdynia, Poland
Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

This two-part article reviews the current legal situation of professional personnel implementing hyperbaric procedures other than those used for diving. Numerous inconsistencies between the existing legal acts and the lack of legal regulations concerning procedures not financed from the State budget are shown.
The first significant problem was the lack of mutual correlation of various regulations of the Minister of Health concerning hyperbaric diseases, as well as incoherence with medical and nursing specialisation programs in force in Poland.
The second problem is the lack of requirements in the documents of the Ministry of Health for medical staff other than doctors and nurses, including technical staff, necessary for the implementation of a safe oxybarotherapy procedure.
The situation is clearer with respect to technical personnel than in relation to medical personnel. There are provisions which strictly define the qualifications of such staff for a very narrow group of technical personnel. Although they deal with issues related to the use of hyperbaric chambers in diving, to date no other separate regulations have been developed for medical applications of hyperbaric therapy. Unfortunately, both in centres financed by the National Health Fund and in private centres, no-one observes these regulations because there is no such formal requirement.
The same applies to occupational research (occupational medicine) for all groups of personnel involved in hyperbaric oxygen therapy treatments.
It was also found that medical hyperbaric centres not seeking funding from the budget (the National Health Fund) do not have even minimum qualification requirements for the medical staff working there. Furthermore, there is no knowledge of the requirements set out in other legal acts other than those concerning medicine.
Keywords: hyperbaric treatment, medical staff, technical staff, specialisation, qualifications.

W dwuczęściowym artykule dokonano przeglądu aktualnej sytuacji prawnej personelu fachowego, wykonującego procedury hiperbaryczne inne, niż nurkowe. Wykazano liczne sprzeczności pomiędzy obowiązującymi aktami prawnymi i brak regulacji prawnych dotyczących procedur niefinansowanych z budżetu Państwa.
Pierwszym istotnym problemem był brak wzajemnej korelacji różnych, dotyczących hiperbarii Rozporządzeń Ministra Zdrowia, a także niespójności z obowiązującymi w Polsce programami specjalizacji lekarskich i pielęgniarskich.
Drugi problem to brak określenia w dokumentach Ministerstwa Zdrowia wymagań w stosunku do innego niż lekarze i pielęgniarki personelu medycznego, w tym personelu technicznego, niezbędnego dla realizacji bezpiecznej procedury oksybaroterapii
Istnieją przepisy ściśle określające kwalifikacje tych pracowników, dotyczące bardzo wąskiej grupy technicznej personelu. Dotyczą co prawda zagadnień związanych ze stosowaniem komór ciśnieniowych w nurkowaniu, jednak do chwili obecnej nie powstały inne, odrębne dla medycznych zastosowań hiperbarii przepisy. Niestety, zarówno w ośrodkach finansowanych przez NFZ jak i prywatnych, nikt tych przepisów nie przestrzega, bo nie ma takiego wymagania formalnego.
Podobnie ma się rzecz z badaniami pracowniczymi (medycyna pracy) dla wszystkich grup personelu pracującego w zabiegach hiperbarii leczniczej, z użyciem tlenu. Stwierdzono także, że medyczne ośrodki hiperbaryczne nie ubiegające się o finansowanie z budżetu (NFZ) nie mają określonych nawet minimalnych wymagań co do kwalifikacji pracującego w nich personelu medycznego. Brak jest także znajomości wymagań określonych w innych niż dotyczące medycyny aktach prawnych.
Słowa kluczowe: leczenie hiperbaryczne, personel medyczny, personel techniczny, specjalizacja, kwalifikacje.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 70 Issue 1 pp. 7 – 20
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2020-0001
Pages: 14, figures: 0, tables: 0
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 12.01.2020 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 22.01.2020 r.

В статье в двух частях произведен обзор актуальной правовой ситуации профессионального персонала, проводящего гипербарические процедуры, кроме ныряльщиков. Указано на многочисленные противоречия между действующими правовыми актами и отсутствие правового регулирования процедур, не финансируемых из государственного бюджета.
Первой существенной проблемой было отсутствие взаимной корреляции различных распоряжений министерства здравоохранения, касающихся гипербарии, а также несоответствия действующим в Польше программам специализации врачей и медсестер.
Вторая проблема - отсутствие определения в документах министерства здравоохранения требований в отношении к иному, чем врачи и медсестры, медицинскому персоналу, в том числе к техническому персоналу, необходимому для проведения безопасной процедуры оксибаротерапии.
В отношении технического персонала ситуации более ясная, чем в отношении медицинского персонала. Существуют нормы, четко определяющие квалификации этих работников, касающиеся очень узкой группы технического персонала. Правда, они касаются вопросов, связанных с применением гипербарических камер при нырянии, но в настоящий момент нет других, отдельных для медицинского применения гипербарии норм. К сожалению, как в учреждениях, финансируемых государством, так и в частных никто не соблюдает нормы, потому что нет такого формального требования.
Похожая ситуация и с профессиональными обследованиями (медицина труда) для всех групп персонала, работающего с процедурами лечебной гипербарии с использованием кислорода.
Установлено также, что медицинские гипербарические центры, не обращающиеся за финансированием из бюджета, не имеют никаких, даже минимальных требований к работающему у них персоналу. Нет также знания требований, определенных в иных, чем медицинских, правовых актах.
Ключевые слова: гипербарическое лечение, медицинский персонал, технический персонал, специализация, квалификации.

Der zweiteilige Artikel gibt einen Überblick über die aktuelle rechtliche Situation von Fachpersonal, das andere hyperbare Verfahren als Tauchen durchführt. Es zeigten sich zahlreiche Widersprüche zwischen den bestehenden Rechtsakten und dem Fehlen rechtlicher Regelungen für nicht aus dem Staatshaushalt finanzierte Verfahren.
Das erste bedeutende Problem war die fehlende gegenseitige Korrelation verschiedener Vorschriften des Gesundheitsministers bezüglich hyperbarer Verfahren sowie Inkonsistenzen mit den in Polen geltenden medizinischen und pflegerischen Spezialisierungsprogrammen.
Das zweite Problem war das Fehlen von Anforderungen in den Dokumenten des Gesundheitsministeriums für medizinisches Personal außer Ärzten und Krankenschwestern, einschließlich des technischen Personals, das für die Durchführung eines sicheren Oxybarorapie-Verfahrens erforderlich ist.
Für technisches Personal ist die Situation eindeutiger als für medizinisches Personal. Es gibt Bestimmungen, die die Qualifikationen dieser Personengruppe für eine sehr enge Gruppe technischen Personals streng definieren. Obwohl sie sich mit Fragen im Zusammenhang mit der Verwendung von Druckkammern beim Tauchen befassen, gibt es bis heute keine gesonderten Vorschriften für medizinische Anwendungen der hyperbaren Medizin. Leider hält sich sowohl in Zentren, die vom Nationalen Gesundheitsfonds finanziert werden, als auch in privaten Zentren niemand an diese Vorschriften, weil es keine solchen formalen Anforderungen gibt.
Dasselbe gilt für die Mitarbeiterforschung (Arbeitsmedizin) aller Personengruppen, die in der hyperbaren Sauerstofftherapie arbeiten.
Es wurde weiter festgestellt, dass medizinische Zentren für Hyperbarie, die keine Mittel aus dem Haushalt des Nationalen Gesundheitsfonds (NFZ) beantragen, nicht einmal die grundlegenden Qualifikationsanforderungen an das dort arbeitende medizinische Personal vorweisen können. Es besteht ferner ein Mangel an Wissen über die Anforderungen, die in anderen als medizinischen Akten festgelegt sind.
Schlüsselwörter: Hyperbare Behandlung, medizinisches Personal, technisches Personal, Spezialisierung, Qualifikationen.

En el presente artículo, que consta de dos partes, se examina la situación jurídica actual del personal profesional que realiza procedimientos hiperbáricos distintos al submarinismo. Se han encontrado numerosas contradicciones entre los actos jurídicos vigentes y la falta de reglamentación jurídica relativa a los procedimientos no financiados con cargo a los presupuestos del Estado.
El primer problema importante fue la falta de correlación mutua de diversos reglamentos del Ministro de Salud relativos a la hiperbaria, así como las incoherencias con los programas de especialización médica y de enfermería vigentes en Polonia.
Otro problema fue la falta de descripción en la documentación del Ministerio de Salud de los requisitos a cumplir por parte del personal médico distinto a médicos y las enfermeras, incluyendo el personal técnico, necesario para la aplicación de un procedimiento seguro de oxibaroterapia.
En cuanto al personal técnico la situación es más clara que para el personal médico. Existen disposiciones que definen estrictamente las calificaciones de dichos trabajadores relativas a un grupo muy reducido de personal técnico. Aunque se refieren a cuestiones relacionadas con el uso de cámaras de descompresión en submarinismo, hasta la fecha no existen otras reglamentaciones separadas para las aplicaciones médicas de la medicina hiperbárica. Desgraciadamente, tanto en los centros de financiación pública como privada, nadie observa dichas disposiciones porque no existe tal requisito formal.
Lo mismo ocurre con los estudios ocupacionales (medicina laboral) para todos los grupos de personal que trabajan en tratamientos hiperbáricos de oxigenoterapia.
También se ha constatado que los centros médicos hiperbáricos que no solicitan financiación con cargo a los presupuestos públicos ni siquiera cuentan con requisitos mínimos de calificación para el personal médico que trabaja en ellos. También existe una falta de conocimiento de los requisitos relativos a la legislación no médica.
Palabras clave: tratamiento hiperbárico, personal médico, personal técnico, especialización, calificaciones.

WSTĘP

W pierwszej części artykułu omówiono wymagania stawiane lekarzom prowadzącym leczenie hiperbaryczne w Polsce, na tle przepisów europejskich. Wykazano całkowite nieprzystawanie tych wymogów zarówno do potrzeb pacjentów, jak i systemu szkolenia specjalizacyjnego obowiązującego w Polsce. Część pierwsza [1] była opublikowana przed niespełna trzema laty i, co autorzy z przykrością stwierdzają, sytuacja pacjentów oczekujących na wzrost dostępności leczenia hiperbarycznego, sztucznie ograniczany wymogami w stosunku do lekarzy, nie uległa poprawie. Nie pomogły stanowiska i listy do Ministerstwa od Konferencji Prezesów Polskich Towarzystw Lekarskich, czy Konsultanta Krajowego.

W drugiej części artykułu przedstawiamy kwalifikacje wymagane prawem, w świetle programów szkolenia innych niż lekarze fachowych pracowników zajmujących się prowadzeniem leczenia hiperbarią tlenową. Są to:

- pielęgniarka,
- operator komory leczniczej terapii tlenowej,
- technik,
- asystent-komorowy, tzw. „attendent".

PIELĘGNIARKA LUB PIELĘGNIARZ

W USA, na których rozwiązania organizacyjne, a szczególnie wysoki poziom medycyny, często w Polsce się powołuje, istnieje osobna specjalizacja pielęgniarska „pielęgniarka hiperbaryczna" *baromedical nurse (BN)*. Oczywiście specjalizacja ta nie ma swojego odpowiednika w Polsce i, zdaniem autorów, bardzo słusznie, gdyż wiedza niezbędna pielęgniarce, podobnie jak lekarzowi do prowadzenia terapii tlenem hiperbarycznym w przypadkach innych niż wypadki nurkowe, lotnicze i zatorowość gazowa (czyli 99% wszystkich przypadków) [2] nie jest tak obszerna, aby tworzyć odrębną specjalizację. Wystarczy krótki kurs prowadzony w renomowanym ośrodku.

Wedle Obwieszczenia Ministra Zdrowia z 14 kwietnia 2016 (D.U. 2016 poz. 694), w sprawie świadczeń gwarantowanych z zakresu leczenia szpitalnego. tzw. „rozporządzenie koszykowe"[3], pielęgniarka biorąca udział w terapii hiperbarycznej powinna spełniać następujące wymagania:

- specjalista w dziedzinie pielęgniarstwa anestezjologicznego i intensywnej, opieki lub pielęgniarka po kursie kwalifikacyjnym w dziedzinie pielęgniarstwa anestezjologicznego i intensywnej opieki, lub dwuletnie doświadczenie w pracy w OAiIT,

a) nie mniej niż 160 godzin szkolenia w zakresie medycyny nurkowej i hiperbarycznej,

b) ukończony kurs medycyny nurkowej (40 godzin),

c) ukończony kurs medycyny hiperbarycznej (40 godzin) zgodnie z zaleceniami ECHM, (zawarte są one w *Europejskim kodeksie dobrej praktyki w leczeniu tlenem hiperbarycznym* [4]),

d) odbyte 2-tygodniowe szkolenie (80 godzin) w ośrodku hiperbarycznym, pracującym zgodnie z zaleceniami Europejskiego Komitetu Medycyny

INTRODUCTION

The first part of the article discusses the requirements for doctors providing hyperbaric treatment in Poland against the European regulations. These requirements have been shown to be completely incompatible with both the needs of patients and the system of specialisation training in Poland. The first part [1] was published less than three years ago and, regrettably, the situation of patients waiting for an increase in the availability of hyperbaric treatment artificially limited by the requirements for doctors has not improved. The letters to the Ministry from the Conference of Presidents of Polish Medical Societies or the National Consultant failed to provide the expected results.

In the second part of the article, we present the qualifications required by law in the light of training programs other than those of the professional doctors dealing with oxygen hyperbaric treatment. These are:

- nurse,
- operator of the oxygen therapy chamber,
- technician,
- the chamber assistant, the so-called "attendant".

NURSE

In the USA, whose organisational solutions and especially high level of medicine are often referred to in Poland, there is a separate nursing specialisation of a baromedical nurse (BN). Of course, this specialisation has no counterpart in Poland and, according to the authors, very rightly so, because the knowledge necessary for a nurse, like a doctor, to conduct hyperbaric oxygen therapy in cases other than diving or aviation accidents and gas embolism (i.e. 99% of all cases) [2] is not so extensive as to create a separate specialisation. A short course conducted at an appropriately equipped and experienced facility is sufficient.

According to the announcement of the Minister of Health of 14 April 2016 (J.L. 2016, item 694) on guaranteed services in the field of hospital treatment, the so-called "basket regulation"[3], a nurse taking part in hyperbaric therapy should meet the following requirements:

- specialist in anaesthetic and intensive care nursing or a nurse following a qualification course in anaesthetic care nursing and intensive care, or two years' experience in a Department of Anaesthesiology and Intensive Care,

a) not less than 160 hours training in diving and hyperbaric medicine,

b) completed a course in diving medicine (40 hours),

c) completed a course in hyperbaric medicine (40 hours) as recommended by the ECHM, (these are included in the *European Code of Good Practice in hyperbaric oxygen treatment* [4]),

d) 2 weeks' training (80 hours) in a hyperbaric facility operating in accordance with the recommendations of the European Committee for Hyperbaric Medicine.

These provisions largely mirror the complete separation of the content of the regulation from the principles of training of professional health care personnel in Poland, discussed in the first part of the article [1]. An anaesthesiological course seems to be completely unnecessary, especially for a nurse. It is not known exactly

Hiperbarycznej.

Zapisy te w dużym stopniu powielają omówione w pierwszej części artykułu [1], całkowite oderwanie treści rozporządzenia od zasad kształcenia fachowych kadr służby zdrowia w Polsce. Pielęgniarka, nie wiedzieć czemu anestezjologiczna, zupełnie zbyteczny, szczególnie pielęgniarce kurs medycyny NURKOWEJ. Nie wiadomo dokładnie jak interpretować punkt „a" mówiący o nie mniej niż 160 godzin szkolenia. Czy jest to suma trzech następnych punktów, czy pierwszy, najważniejszy kurs, po którym następują następne. Niezależnie jednak od interpretacji, szkolenie pielęgniarek jest w świetle tych przepisów dłuższe niż lekarzy.

Według Europejskiego Towarzystwa Hiperbarycznego (ECHM), wymagania co do kwalifikacji pielęgniarek są mniej szczegółowe i nieco bardziej logiczne [4]. Nie ma tu sztywnych wymagań co do specjalizacji czy liczby godzin szkolenia. Przedstawiają się one następująco: pielęgniarka hiperbaryczna musi posiadać odpowiedni stopień swojej specjalności. Bardzo użyteczne będzie specyficzne (a nie specjalistyczne – przyp. autorów) przeszkolenie w pielęgniarstwie Intensywnej Terapii. Właściwa będzie również wiedza z zakresu innych specjalności jak angiologia, traumatologia i leczenie ran.

Istotne są specjalne kursy z zakresu medycyny hiperbarycznej. Pielęgniarki mogą otrzymywać niezbędne przeszkolenie praktyczne w tej samej instytucji, nadzorowane przez kierownika medycznego.

Specjalne kursy dla pielęgniarek hiperbarycznych są bardzo rekomendowane, ale nie będą ściśle wymagane.

Pielęgniarki Hiperbaryczne mogą również otrzymywać uzupełniające wyszkolenie, zgodne z ich przygotowaniem zawodowym, w następujących przedmiotach:

- Główne zasady teorii dekompresji, techniki nurkowania,
- Technika hiperbaryczna,
- Bezpieczeństwo i środki zapobiegawcze,
- Użycie jednomiejscowej komory lub wielomiejscowej HBO,
- Intensywna opieka nad pacjentami,
- Inne aspekty związane zarówno z nurkowaniem jak medycyną hiperbaryczną, w odniesieniu do zawodu pielęgniarki.

Powinno być wymagane podstawowe wyszkolenie i pielęgniarska specjalizacja. Specjalne kursy dla pielęgniarek hiperbarycznych są bardzo rekomendowane, ale nie będą ściśle wymagane.

Na szczególną uwagę zasługuje podkreślenie zależności kwalifikacji „od najczęściej spotykanych patologii podczas leczenia hiperbarycznego". Właśnie pielęgniarki posiadające kwalifikacje w leczeniu ran przewlekłych, które stanowią gros przypadków leczonych hiperbarycznie, są w praktyce najbardziej przydatne. A umiejętności te nie wchodzą w zakres specjalizacji pielęgniarskiej „pielęgniarka anestezjologiczna".

Podobnie jak w przypadku specjalizacji lekarskich, przeanalizowano programy specjalizacji pielęgniarskich pod kątem zawartych w nich treści dotyczących terapii hiperbarycznej. Wykaz dziedzin pielęgniarstwa oraz dziedzin mających zastosowanie w ochronie zdrowia, w których może być prowadzona specjalizacja, zostały określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 12 grudnia 2013 r. „W sprawie wykazu dziedzin pielęgniarstwa oraz dziedzin mających zastosowanie w ochronie zdrowia, w których może być

how to interpret point "a", which refers to no less than 160 hours of training. Is it the sum of the next three points or the first, most important course followed by subsequent ones? However, regardless of the interpretation, under these regulations the training of nurses is longer than that of doctors.

According to the European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM), the qualification requirements for nurses are less detailed and somewhat more logical. [4] There are no rigid requirements for specialisation or training hours. They are as follows: A hyperbaric nurse must have the appropriate degree of specialisation. A specific (and not specialised - author's note) training in Intensive Care Nursing will be very useful. Knowledge of other specialised areas such as angiology, traumatology and wound treatment will also be appropriate.

Special courses in hyperbaric medicine are important. Nurses may receive the necessary practical training in the same institution, supervised by a medical manager.

Special courses for hyperbaric nurses are highly recommended but will not be strictly required.

Hyperbaric Nurses may also receive supplementary training, consistent with their professional preparation, in the following subjects:

- Main principles of decompression theory, diving techniques,
- Hyperbaric technique,
- Safety and prevention measures,
- Use of a single-seat chamber or multi-seat HBO chamber,
- Intensive patient care,
- Other aspects related to both diving and hyperbaric medicine, in relation to the profession of a nurse.

Basic training and nursing specialisation should be required. Special courses for hyperbaric nurses are highly recommended but will not be strictly required.

Particularly noteworthy is the correlation of qualifications "with the most common pathologies during hyperbaric treatment". It is the nurses with qualifications in the treatment of chronic wounds, which constitute the majority of cases treated with hyperbaric treatment, that are most useful in practice. And these skills are not included in the nursing specialisation "Anaesthesiological Nurse".

As in the case of medical specialisations, nursing specialisation programmes were analysed in terms of the content concerning hyperbaric therapy. The list of areas of nursing and areas applicable in healthcare in which the specialisation may be conducted is set out in the Regulation of the Minister of Health of 12 December 2013. "On the list of fields of nursing and fields applicable in healthcare in which the specialisation and qualification courses may be conducted" [5]. Specialist training for nurses takes place on the basis of the "Act on Professions of Nurse and Midwife" art. 67 section 1 of the Act of 15 July 2011 [6].

The website of the Centre of Postgraduate Education for Nurses and Midwives [7] contains current and previous nursing specialisation programs. Among the mentioned specialties, apart from Anaesthesiological and Intensive Care Nursing, the following areas of specialisation were analysed: Rescue and surgical nursing on account of the fact that the most frequently treated hyperbaric pathologies are chronic wounds and diabetic

prowadzona specjalizacja i kursy kwalifikacyjne" [5]. Kształcenie specjalizacyjne pielęgniarek odbywa się na podstawie „Ustawy o zawodach pielęgniarki i położnej" art. 67 ust. 1 ustawy z dnia 15 lipca 2011 r. [6].

Na stronie internetowej Centrum Kształcenia Podyplomowego Pielęgniarek i Położnych [7] znajdują się aktualne i poprzednie programy specjalizacji pielęgniarskich. Spośród wymienionych specjalizacji, poza *Pielęgniarstwem anestezjologicznym i intensywnej opieki* przeanalizowano także specjalizacje: *Pielęgniarstwo ratunkowe i Pielęgniarstwo chirurgiczne* z uwagi na fakt, że najczęściej leczonymi hiperbarią patologiami są rany przewlekłe i stopa cukrzycowa.

Jednak podobnie jak w przypadku specjalizacji lekarskiej z zakresu anestezjologii i intensywnej terapii, obecnie obowiązujący „Program szkolenia specjalizacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa anestezjologicznego i intensywnej opieki dla pielęgniarek" nie zawiera jakiejkolwiek wzmianki o leczeniu hiperbarycznym, leczeniu tlenem pod zwiększonym ciśnieniem itd. Również treści dotyczących hiperbarii tlenowej (ale także leczenia ran przewlekłych) nie udało się znaleźć w aktualnym „Programie kursu kwalifikacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa anestezjologicznego i intensywnej opieki dla pielęgniarek". Także wcześniejszy, obowiązujący do 2016 roku program tej specjalizacji pielęgniarskiej nie zawierał treści dotyczących terapii hiperbarycznej.

W obecnie obowiązującym „Programie szkolenia specjalizacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa ratunkowego dla pielęgniarek" wskazano w punkcie W52 wymóg wiedzy „zna wskazania do tlenoterapii biernej, czynnej oraz do leczenia tlenem hiperbarycznym". Natomiast w wykazie umiejętności tej specjalizacji w punkcie U138 znajduje się wymóg „stosować nowoczesne metody leczenia ran". Aktualny „Program kursu kwalifikacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa ratunkowego" już takich treści nie zawiera. W programie specjalizacji obowiązującym do 2016 roku znajdują się zapisy analogiczne jak w obecnie obowiązującym, czyli nic na temat hiperbarii.

Obowiązujący „Program szkolenia specjalizacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa chirurgicznego dla pielęgniarek" nie zawiera wzmianek o terapii tlenem hiperbarycznym, natomiast znajdują się w nim tematy, w których ten problem powinien być poruszany, takie jak: W16 „charakteryzuje nowoczesne metody leczenia ran", U10 „ocenić stan rany, rozpoznać wczesne objawy jej zakażenia i dobrać środki, opatrunki do rodzaju rany i fazy jej gojenia (rana urazowa, operacyjna, rany przewlekłe)", U63 „ocenić ranę przewlekłą, dobrać środki i opatrunki do rodzaju rany i fazy jej gojenia", U64 „pielęgnować chorego z raną w zespole stopy cukrzycowej." Również w „Programie kursu kwalifikacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa chirurgicznego dla pielęgniarek" znajdują się podobne tematy, np.: W13 „charakteryzuje nowoczesne metody leczenia ran". Program specjalizacyjny obowiązujący do 2016 roku zawierał te same zapisy co obecny.

Na stronie CMKPPiP znajdują się również programy kursów, których tytuły nie są tożsame ze specjalizacjami pielęgniarskimi. „Program kursu kwalifikacyjnego w dziedzinie pielęgniarstwa diabetologicznego dla pielęgniarek" zawiera podobne jak program specjalizacji chirurgicznej tematy w których może być zawarta wiedza o terapii hiperbarycznej, np.: W 34 „różnicuje metody leczenia nieoperacyjnego

foot.

However, as in the case of medical specialisation in the field of anaesthesiology and intensive care, the current "Program of specialisation training in the field of anaesthesiology and intensive care for nurses" does not contain any mention of hyperbaric treatment, treatment with oxygen under increased pressure, etc. Also the contents concerning oxygen hyperbaria (but also the treatment of chronic wounds) could not be found in the current "Qualification course programme in the field of anaesthesiological and intensive care nursing". Similarly, the earlier programme of this nursing specialisation, which was valid until 2016, did not contain any content on hyperbaric therapy.

The current "Programme of Specialised Training in Emergency Nursing for Nurses" indicates in point W52 the requirement of the knowledge "of the indications for passive, active and hyperbaric oxygen therapy". Whereas in the list of skills of this specialisation in point U138 there is a requirement "to administer modern wound treatment methods". The current "Qualification course programme in the field of emergency nursing" no longer contains such information. In the specialisation program valid until 2016, there are provisions analogous to the current one, i.e. there is nothing on the subject of hyperbaric therapy.

The current "Specialist Surgical Nursing Training Programme for Nurses" contains no mention of hyperbaric oxygen therapy, but there are topics where this issue should be addressed, such as: W16 "characterises modern methods of wound treatment", U10 "assesses the condition of the wound, recognises early symptoms of its infection and selects the means and dressings for the type of wound and its healing phase (traumatic, surgical, chronic wounds)", U63 "assesses the chronic wound, selects the means and dressings for the type of wound and its healing phase", U64 "cares for a patient with a wound in diabetic foot syndrome." The "Qualification course programme in the field of surgical nursing for nurses" also includes similar topics, e.g.: W13 "characterises modern wound treatment methods". The specialisation programme valid until 2016 contained the same provisions as the current one.

The website of the Centre of Postgraduate Education for Nurses and Midwives also includes course programmes whose titles are unrelated to the nursing specialisations. The "Diabetic Nursing Qualification Course Programme for Nurses" contains subjects similar to the surgical specialisation programme which may include knowledge of hyperbaric therapy, such as W 34 "differentiates between non-operative and surgical treatment of chronic wounds in the course of diabetic foot syndrome", W70 "explains alternative methods of care for ulcers caused by diabetic foot syndrome".

In the "Specialist Wound Treatment Course Programme for Nurses", apart from numerous references to the treatment of chronic wounds, lower limb wounds or diabetic foot, we also find a topic directly related to the treatment with oxygen under increased pressure: W8 "explains the role of hyperbaric oxygen and vacuum therapy in wound treatment".

On the basis of the above analysis, it can be concluded that no nurse training programme includes the topic of hyperbaric oxygen therapy and that this method of treatment is only mentioned in the specialisation programme for emergency nursing and in the specialist course of wound treatment. Therefore, as in the case of physicians, the designation of anaesthesiological nurses to

i operacyjnego przewlekłych ran w przebiegu zespołu stopy cukrzycowej", W70 „wyjaśnia alternatywne metody pielęgnacji owrzodzeń spowodowanych zespołem stopy cukrzycowej".

W „Programie kursu specjalistycznego leczenia ran dla pielęgniarek", poza licznymi nawiązaniami do leczenia ran przewlekłych, ran kończyn dolnych czy stopy cukrzycowej znajdujemy również temat dotyczący bezpośrednio leczenia tlenem pod zwiększonym ciśnieniem: W8 „wyjaśnia rolę hiperbarii tlenowej oraz terapii podciśnieniowej w procesie leczenia ran".

Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że w żadnym programie szkolenia pielęgniarek nie znajduje się tematyka leczenia hiperbarią tlenową, a wzmianki o tej metodzie leczenia obecne są jedynie w programie specjalizacyjnym, w dziedzinie pielęgniarstwa ratunkowego i w programie kursu specjalistycznego z zakresu leczenia ran. Dlatego, podobnie jak w przypadku lekarzy, wskazanie w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia pielęgniarek anestezjologicznych do udziału w terapii hiperbarycznej nie ma żadnego uzasadnienia, z punktu widzenia ich kwalifikacji.

Poza przypadkami ostrymi takimi jak np. zatrucie tlenkiem węgla, czy tętnicze zatory gazowe właściwa kwalifikacja chorych do wdrożenia leczenia hiperbarycznego zapobiega konieczności stosowania procedur zarezerwowanych dla anestezjologów, czy pielęgniarek anestezjologicznych. Z tego powodu grupom chorych poddawanych terapii hiperbarycznej w komorach towarzyszą nie lekarze, nie pielęgniarki, lecz osoby, o których we wspomnianym wcześniej kilkakrotnie Rozporządzeniu Ministra Zdrowia nie ma ani słowa. Tymczasem właśnie oni, „asystenci komorowi" zwani z angielska „attendentami" spędzają najwięcej czasu w warunkach podwyższonego ciśnienia.

ATENDENT- ASYSTA MEDYCZNA

Według Europejskiego Towarzystwa Hiperbarycznego (ECHM), co przedstawiono w Europejskim Kodeksie Dobrej Praktyki w terapii Tlenem Hiperbarycznym [4], str.4 atendent to osoba odpowiedzialna za opiekę nad chorymi wewnątrz komory wielomiejscowej, zgodnie z ograniczeniami wynikającymi z ich kwalifikacji. W aneksie 1 tego dokumentu [4], str. 25 stwierdza się, że atendenci mogą pochodzić z różnych zawodów odnoszących się do medycyny podwodnej i hiperbarycznej, takich jak: nurkowie sportowi i komercyjni, zawody pomocnicze (?), studenci medycyny, paramedycy, asystenci (?), inne zawody najlepiej, ale niekoniecznie związane ze służbą zdrowia. Dalej czytamy, że wyszkolenie i praktyka tych osób mogą być przeprowadzone w tej samej placówce hiperbarycznej. Jako wymagane wykształcenie wymieniony jest obowiązkowy kurs pierwszej pomocy medycznej. Natomiast kurs przygotowujący do pracy jako atendent powinien wedle ECHM obejmować aspekty: podstawowe zasady medycyny i terapii, pierwszą pomoc medyczną, podstawowe zasady nurkowania i medycyny hiperbarycznej. Niestety, mimo tak ważnej roli, jaką atendenci spełniają w procesie terapii hiperbarycznej, nie są w ogóle ujęci w „Rozporządzeniu koszykowym", w związku z czym, w komorach pracują osoby przypadkowe, często bez podstawowego nawet szkolenia nie tylko w zakresie hiperbarii, ale nawet pierwszej pomocy.

participate in hyperbaric therapy in the Regulation of the Minister of Health is not justified in terms of their qualifications.

Except for acute cases, e.g. carbon monoxide poisoning or arterial gas embolism, proper qualification of patients for implementation of hyperbaric treatment prevents the use of procedures reserved for anaesthesiologists or anaesthesiological nurses. For this reason, the groups of patients undergoing hyperbaric therapy in chambers are not accompanied by physicians, or nurses, but persons not mentioned in the Regulation of the Minister of Health referred to several times before. Meanwhile, it is the "chamber assistants" called "attendants", who spend most of their time in conditions of increased pressure.

ATTENDANTS – MEDICAL ADDISTANCE

According to the European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM), as outlined in the European Code of Good Practice for Hyperbaric Oxygen Therapy [4], p.4, the attendant is a person responsible for the care of patients inside a multi-seat chamber, in accordance with the limitations resulting from their qualifications. Annex 1 of this document [4], p. 25 states that attendants may come from various professions related to underwater and hyperbaric medicine, such as: sports and commercial divers, assistant professions, medical students, paramedics, , and other professions preferably but not necessarily related to health care. We further read that the training and practice of these professionals can be undertaken in the same hyperbaric facility. A compulsory first aid course is listed as the required education. According to the ECHM, the course preparing for work as an attendant should cover the following aspects: basic principles of medicine and therapy, medical first aid, basic principles of diving and hyperbaric medicine. Unfortunately, despite such an important role that attendants play in the process of hyperbaric therapy, they are not included in the "Basket Regulation" at all, and therefore, random people work in the chambers, often without even basic training not only in hyperbaric therapy, but even first aid.

CHAMBER OPERATOR AND TECHNICIAN

Another staff member not mentioned in the Regulation of the Minister of Health [3] is a person on whose proper training and experience depends the correct and safe course of a hyperbaric exposure.

In Poland, the regulations and formal requirements for domestic and industry documents concerning the exploitation of the HBO chamber are unknown, although formally there are specialisations created for this purpose in professional and connercial diving (Ministry of National Defence, Ministry of Internal Affairs). Although the documents of European and world associations have been defining areas of specialisation and training of operators for over 20 years, in our country this problem is being "solved" differently. Chamber operators are most often trained by the manufacturer (training on the job), or at courses abroad (very rarely). Also, the qualifications obtained during military service are used.

Sometimes the HBO chamber is treated as a pressure vessel and, in the opinion of the owners, certificates of approval for operation and maintenance of

OPERATOR KOMORY I TECHNIK

Osobą również nie wspominaną w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [3] jest osoba od której właściwego wyszkolenia i doświadczenia zależy prawidłowy i bezpieczny przebieg ekspozycji hiperbarycznej.

W Polsce nieznane są przepisy i wymagania formalne dla krajowych i branżowych dokumentów dotyczących obsługi komory HBO, chociaż formalnie istnieją specjalności do tego powołani w nurkowaniach profesjonalnych i branżowych (MON, MSW). Mimo, że dokumenty europejskich i światowych stowarzyszeń od ponad 20-lat określają specjalności i szkolą operatorów w naszym kraju, problem ten jest „rozwiązywany" różnie. Operatorzy komór są najczęściej szkoleni przez producenta (szkolenie stanowiskowe), lub na kursach zagranicznych (bardzo rzadko). Również wykorzystuje się uprawnienia uzyskane w podczas służby wojskowej. Niekiedy komorę HBO traktuje się jako zbiornik ciśnieniowy i w opinii właścicieli wystarczą świadectwa dopuszczające do obsługi i eksploatacji tych zbiorników. Ogólny krajowy system szkolenia obsługi i eksploatacji oraz nadzoru w naszym kraju nie jest zorganizowany z prostego względu; jest to gestia Ministerstwa Zdrowi, a komora HBO taktowana jest jako urządzenie lecznicze.

Panujące przekonanie, że powierzenie operatorowi systemów nurkowych do obsługi komór HBO jest, zdaniem autorów, pewnym uproszczeniem rozwiązania problemu, choć w obecnych warunkach najlepszym. Nadmienić należy, że operatorów z wieloletnim doświadczeniem i pełną praktyką można w Polsce policzyć na palcach obu rąk. Zakres szkolenia operatorów systemów nurkowych tylko w pewnym, bardzo szerokim, lecz nie całkowitym zakresie pokrywa się z wymaganymi umiejętnościami w relacji do wymagań [8] operatorów komór HBO, określonych w przepisach innych krajów.

W związku z tym, że w Polsce jest obecnie kilkadziesiąt komór HBO w instytucjach medycznych, w ośrodkach sportowych i spa oraz w innych lokalizacjach, a także bliżej nieokreślona ilość „komór miękkich" czyli worków do zapobiegania chorobie wysokościowej reklamowanych jako komory, problem zabezpieczenia technicznego ich pracy jest problemem wręcz palącym. Liczba tych urządzeń, z uwagi na modę na "tlen hiperbaryczny" będzie stale rosła i prawdopodobnie również w Polsce będzie występował trend międzynarodowy do posiadania komór HBO przez osoby prywatne, w domu lub np. w klubach, stowarzyszeniach itp. Aktualnie koszt „miękkiej komory HBO" jest w zasięgu średniozamożnego obywatela USA, czy nieco bardziej zamożnego Polaka. Większość wypadków śmiertelnych podczas terapii w USA to wypadki właśnie w prywatnych komorach [9] i nie ma żadnych powodów, aby się spodziewać, że w Polsce będzie inaczej. Dla zapewnienia określonego poziomu wykonania zabiegów, problem ten wymaga rozwiązania prawnego. Posiadanie personelu technicznego o kwalifikacjach stosownych do standardów przyjętych w gremiach międzynarodowych, zajmujących się oksybaroterapią, powinno być obligatoryjne.

W dokumentach europejskich *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centres Joint Educational Subcommittee European Committee for Hyperbaric Medicine* (ECHM) [8] wyróżnia się dwa stanowiska techniczne: operatora komory

these vessels are sufficient. The general national system of training in operation and maintenance and supervision in our country is not organised for a simple reason; it is the responsibility of the Ministry of Health and the HBO chamber is treated as a medical device.

The authors believe that entrusting an operator with diving systems to operate HBO chambers is, in their opinion, a certain simplification of the solution to the problem, although under current conditions it is the best one. It should be noted that operators with many years of experience and full practice can be counted on the fingers of both hands in Poland. Not all dive system operators have a broad scope of training, and even those that do, don't possess the complete range of skills required in relation to the requirements [8] of HBO chamber operators specified in regulations of other countries.

Due to the fact that in Poland there are currently several dozen HBO chambers in medical institutions, sports and spa centres, and other locations, as well as an unspecified number of "soft chambers", i.e. bags designed to prevent altitude illness advertised as chambers, the problem of technical protection of their work is a pressing one. The number of these devices due to the fashion for "hyperbaric oxygen" will be constantly growing and probably also in Poland there will be an international trend to own HBO chambers by private individuals, at home or e.g. in clubs, associations, etc. Currently, the cost of the "soft HBO chamber" is within the reach of an average American citizen, or a slightly more affluent Pole. The majority of deaths during therapy in the USA occur in private chambers [9] and there is no reason to expect that in Poland the situation will be different. In order to ensure a certain level of therapy performance, this problem requires a legal solution. The possession of technical personnel qualified to the standards adopted in international bodies dealing with oxybaro therapy should be obligatory.

According to the document *European Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centres Joint Educational Subcommittee European Committee for Hyperbaric Medicine* (ECHM) [8], two technical positions are distinguished: a chamber operator and a technician. Naturally, these two functions can be performed by one person possessing the appropriate qualifications. The technician is the one who prepares and supervises direct work of the operators and operation of the chamber. This should be the preferred model of service and exploitation in Poland, giving the possibility of becoming independent of external service, mostly foreign, allowing the chamber to be maintained in efficiency and practically eliminating long breaks when the chamber is out of service for maintenance.

HYPERBARIC CHAMBER TECHNICIAN

The therapeutic process is carried out by the operator, or a trained person from among the medical personnel - the operator, with the support of technical personnel. The scope of this support must be defined for a given treatment procedure and depends on the design and purpose of the chamber. Contrary to the diving guidelines, in the case of conducting the oxybarotherapy procedures, the technical staff report to the doctor conducting the treatment.

The scope of activities of a diving system operator [10] compared to an operator operating HBO treatments differs in its essence in obvious and elementary conditions

i technika. Te dwie funkcje mogą być oczywiście wykonywane przez jedną osobę, ale o odpowiednio wysokich kwalifikacjach. Technik to ten, który przygotowuje i nadzoruje bezpośredni prace operatorów oraz eksploatację komory. To powinien być preferowany model obsługi i eksploatacji w Polsce, dający możliwość uniezależnienia się od serwisu zewnętrznego, w większości zagranicznego, pozwalający utrzymywać komorę w sprawności praktycznie bez długich przerw.

OPERATOR KOMORY HBO (*HYPERBARIC CHAMBER TECHNICIAN*)

Proces leczniczy realizuje operator lub przeszkolona osoba spośród personelu medycznego – operator, przy wsparciu personelu technicznego. Zakres tego wsparcia określony musi być dla danej procedury leczniczej i zależy od konstrukcji i przeznaczenia komory. Odwrotnie niż w przypisach nurkowych, w przypadku prowadzenia zabiegów oksybaroterapii, personel techniczny podlega lekarzowi prowadzącemu leczenie.

Zakres czynności operatora systemów nurkowych [10], w porównaniu do operatora obsługującego zabiegi HBO, różni się w swojej istocie oczywistymi i podstawowymi uwarunkowaniami, o których się z reguły zapomina. W przypadku operatora systemów nurkowych, w obsługiwanej komorze przebywają ludzie zdrowi, przygotowani i przeszkoleni do przebywania w warunkach nadciśnienia. W komorze leczniczej ludzie chorzy i nie przeszkoleni.

Zwykle operator komory HBO nie ma bezpośredniego kontaktu z leczonym i wykonuje polecenia lub reaguje na sygnały personelu medycznego. Jakie elementy wiedzy i umiejętności operatora komory HBO pokrywają się z zakresem operatora systemów nurkowych? Są one szczegółowo ujęte w dokumencie *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centres* [8]. Dla przykładu, wymagana jest możliwość transferu operatora HBO pod ciśnieniem, celem sprawdzenia prawidłowego działania określonych elementów sprzętu. Od operatora HBO wymaga się także adaptacji i kontroli narzędzi medycznych wnoszonych do komory, w celu zapewnienia ich prawidłowego działania lub uniknięcia niepożądanych skutków ich użycia. Do obowiązków operatorów komór w obu przypadkach należy obsługa sprężarek, układów sterowania, interwencji technicznych oraz napraw nie wymagających wyspecjalizowanego serwisu. W/w dokument nie wspomina o tak ważnej umiejętności jak obsługa i eksploatacja urządzeń pomiarowych w tym szczególnie ważnych analizatorów składu gazu oraz obsługi programu informatycznego, sterującego przebiegiem ekspozycji ciśnieniowej.

Z opisanych wymagań przygotowania do pracy fachowego operatora komory HBO [8,11,12] wynika, że istnieją w Polsce dwie drogi prowadzące do tego celu. Pierwsza to dodatkowe przeszkolenie nurkowego operatora komory dekompresyjnej w problemach medycznych związanych oksybaroterapią i współpracą z pacjentami, lub droga druga; personel medyczny przygotowany do oksybaroterapii należy nauczyć obsługi komory.

Operator komór HBO, w stosunku do operatora komór nurkowych, musi mieć pogłębioną wiedzę i praktykę w kilku bardzo ważnych problemach technicznych, dotyczących bezpieczeństwa przebywania

which and to be forgotten. In the case of a diving system operator, the chamber accomodates healthy people who are prepared and trained to remain in the conditions of overpressure. The therapeutic chamber, on the other hand, is used by sick and untrained people.

Normally, the operator of the HBO chamber does not have direct contact with the patient and follows instructions or responds to signals from medical personnel. What elements of knowledge and skills does the HBO chamber operator share with the diving system operator? These are detailed in the *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centres* [8]. For example, it is a requirement to be able to transfer a HBO operator into the chamber while under pressure to check the correct functioning of certain equipment components. The HBO operator is also required to adapt and control the medical instruments brought into the chamber in order to ensure their proper functioning or to avoid undesired effects. The duties of chamber operators in both cases include operation of compressors, control systems, technical interventions and repairs that do not require specialised service. The above-mentioned document does not mention such an important skill as the operation and use of measuring equipment, including in particular important gas composition analysers, and the operation of an IT program controlling the course of pressure exposure.

From the described requirements of preparation for the work of a professional operator of the HBO chamber [8,11,12] it follows that there are two paths leading to achieving this goal in Poland. The first one is additional training of the diving decompression chamber operator in medical problems related to oxybarotherapy and cooperation with patients, or the second route - teaching the medical personnel prepared for oxybarotherapy to operate the chamber.

In comparison to a diving chamber operator, the HBO chamber operator must have in-depth knowledge and practice in several very important technical problems, including fire safety. These are problems related to ensuring oxygen and biological cleanliness, static electricity, preventing the formation of so-called oxygen pockets, and securing the flammable materials used in all phases of the therapeutic pressure procedures.

HBO CHAMBER TECHNICIAN

Each centre should have at least one technician whose functions are to control and supervise the chamber operators and medical staff assisting in the chamber during procedures. In addition, he or she should plan the operation and maintenance of the chamber, be authorised to perform service and repair work or choose a maintenance service for safety installations and devices and train the personnel of the facility.

The ECHM's *Educational and Training Standards for the Staff of Hyperbaric Medical Centres* [8] requires a high level of knowledge and preparation. In order to obtain qualifications for the position of a technician, it will be much easier to train additionally a diving system technician, as such positions are envisaged during saturated diving. In our Polish experience, the diving system technician is assisted by an electrician of the diving system, who is responsible for the measurements of all parameters of the atmosphere in the chamber, recording the course of pressure exposure as well as vision and

ludzi podciśnieniem, w tym bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Są to problemy związane z zapewnieniem czystości tlenowej i biologicznej, elektryczności statycznej, zapobieganiu powstawaniu tzw. kieszeni tlenowych oraz zabezpieczeniem wykorzystywanych materiałów palnych we wszystkich fazach prowadzenia leczniczych procedur ciśnieniowych.

TECHNIK KOMORY HBO

Każdy ośrodek powinien posiadać minimum jednego technika, którego funkcje są funkcjami kontrolno-nadzorczymi w stosunku do operatorów komór i personelu medycznego asystującego w komorze podczas zabiegu. Poza tym, planującego eksploatację i obsługę komory, uprawnionego do wykonywania serwisów i napraw lub wybierającego serwis dla instalacji i urządzeń zabezpieczających a także prowadzącego szkolenia personelu ośrodka.

W ECHM *Educational and Training Standards for the Staff of Hyperbaric Medical Centres* [8] od technika wymaga się wysokiego poziomu wiedzy i przygotowania. Dla uzyskania kwalifikacji na stanowisku technika, zdecydowanie łatwiej będzie wyszkolić dodatkowo technika systemu nurkowego, bo takie stanowiska są przewidziane podczas realizacji nurkowania saturowanego. W naszym polskim doświadczeniu, technika systemu nurkowego wspomaga elektryk-elektronik systemu nurkowego, zabezpieczającego pomiary wszystkich parametrów stanu atmosfery w komorze, rejestracje przebiegu ekspozycji ciśnieniowej oraz urządzeń wizyjnych i łączności [13]. Do rozpatrzenia będzie kwestia zakresu wiedzy medycznej, koniecznej dla dobrej współpracy z lekarzami i pozostałym personelem medycznym. W Polsce specjalność operatora systemów nurkowych łączy obie te funkcje.

W oparciu o akty normatywne krajowe, szczegółowy zakres wiedzy i umiejętności operatora systemów nurkowych ujęty jest w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 25 sierpnia 2004 r., w sprawie szkolenia i egzaminowania osób ubiegających się o uprawnienia do wykonywania prac podwodnych [10] oraz w organizacyjnym i formalnym zakresie w Ustawie o prowadzeniu prac podwodnych [14].

Adaptując ogólne wymagania eksploatacyjne i techniczne przepisów towarzystw klasyfikacyjnych oraz przepisów krajowych dozoru technicznego, przedstawiamy poniżej pożądane wymagania kwalifikacyjne operatora komory HBO. W odróżnieniu od zakresu wiedzy i umiejętności nurkowych specjalistów uprawnionych do obsługi i eksploatacji komór, którymi są w naszym kraju operatorzy systemów nurkowych a w międzynarodowej specjalności technicy układów podtrzymania życia systemów nurkowych (*Life Support Technicians* [LST] wg. wymagań *International Marine Contractors Association [IMCA]*) [15], wiedza i przygotowanie praktyczne operatora komory HBO i technika hiperbarycznego odpowiadać powinno poniższym wymaganiom.

W oparciu o ogólne wymagania wynikające z wymagań wobec operatorów komór nurkowych, operatorzy HBO powinni posiadać poszerzone wiedzę i umiejętności:

1. Znać przepisy prawne i formalne krajowe a także wybrane dokumenty zagraniczne regulujące wykonywanie zabiegów leczniczych HBO, oraz

communication devices [13]. The issue for consideration will be the scope of medical knowledge necessary for good cooperation with doctors and other medical personnel. In Poland, the specialisation of a diving system operator combines both these functions.

Based on domestic normative acts, the detailed scope of knowledge and skills of a diving system operator is included in the Regulation of the Minister of Infrastructure of 25 August 2004 on the training and examination of persons applying for the authorisation to perform underwater works [10], and in the organisational and formal scope in the Act on underwater works [14]. With the adaptation of the general operational and technical requirements of the classification societies' regulations and the national technical supervision regulations, we present below the desired qualification requirements for the HBO chamber operator. In contrast to the scope of knowledge and skills of diving specialists authorised to operate and utilise the chambers, which in our country are diving system operators and the international specialisation Life Support Technicians (LST) according to the requirements of International Marine Contractors Association [IMCA]) [15], the knowledge and practical preparation of the HBO chamber operator and hyperbaric technician should meet the following requirements.

Based on the general requirements for dive chamber operators, HBO operators should have enhanced knowledge and skills:

1. Be familiar with national legal and formal regulations and selected foreign documents regulating the performance of HBO treatments, and be able to determine the validity of certificates and approvals of the HBO chamber and its equipment.
2. Know the types, construction, operation and use of HBO chambers and their equipment. Be able to carry out periodic and ad hoc technical inspections and repairs of the HBO chambers and their installations.
3. Know and be able to operate gas, electrical, communication, measurement, observation and parameter recording systems in medical chambers, as well as safety pressure vessels, air and oxygen safety devices, basic and auxiliary equipment. Understand how to operate low, medium and high-pressure oxygen and air tanks, and how to store and transport them.
4. Be able to control the technical condition of the equipment and the equipment of the chamber in accordance with the manufacturer's regulations or instructions and technical principles. The same applies to the types, construction, operation and maintenance of respiratory equipment and inhalers and their preparation for work.
5. Be familiar with the procedures for therapeutic treatments and the health and safety requirements (regulations) for their implementation, as well as the methods of providing first aid (at least having attended a first aid course). Be able to prepare the control station and the chamber for work and carry out decontamination of the respiratory equipment and HBO chamber equipment.
6. Be familiar with the design and principles of patient monitoring devices and their preparation

umieć określić ważność certyfikatów i atestów komory HBO i jej wyposażenia.
2. Znać rodzaje, budowę, zasady działania, obsługi i eksploatacji komór HBO oraz ich wyposażenia. Posiadać umiejętność przeprowadzenia okresowych i doraźnych przeglądów technicznych i remontów komór HBO i ich instalacji.
3. Znać i umieć obsługiwać instalacje gazowe, elektryczne, komunikacji, pomiarowe oraz obserwacji i rejestracji parametrów w komorach leczniczych, a także zabezpieczających ich pracę zbiorników ciśnieniowych, urządzeń bezpieczeństwa instalacji powietrznych i tlenowych, podstawowego i dodatkowego wyposażenia. Znać zasady eksploatacji zbiorników tlenowych i powietrznych niskiego, średniego i wysokiego ciśnienia, sposobów ich magazynowania oraz transportu.
4. Umieć kontrolować stan techniczny sprzętu oraz urządzeń wyposażenia komory zgodnie z przepisami lub instrukcjami producenta oraz zasadami techniki. Podobnie rodzajów, budowy, zasad działania i obsługi sprzętu oddechowego i inhalatorów oraz przygotowania ich do pracy.
5. Poznać procedury zabiegów leczniczych oraz wymagań (przepisów) bezpieczeństwa i higieny ich realizacji oraz sposoby udzielania pierwszej pomocy (co najmniej kurs KPP). Umieć przygotować stanowisko kierowania i komorę do pracy oraz przeprowadzić dekontaminację sprzętu oddechowego i wyposażenia komory HBO.
6. Znać budowę i zasady użycia urządzeń monitoringu chorego i jego przygotowania do leczenia w warunkach nadciśnienia. Umieć wykonywać podstawowe pomiary parametrów składu atmosfery i poziomu szkodliwych domieszek w powietrzu i atmosferze komory (opcjonalnie).
7. Znać podstawy fizjologii przebywania człowieka w warunkach podwyższonego ciśnienia a także zasady postępowania w warunkach zagrożenia bezpieczeństwa ludzi przebywających w komorze.
8. Znać sposoby przeliczania jednostek oraz kalkulację ilość gazów i materiałów eksploatacyjnych dla przygotowania i pobytu chorego lub chorych w warunkach nad ciśnienia.
9. Poznać organizację prowadzenia zabiegów leczniczych w tym zakres zadań i obowiązków technika komory HBO.

Współczesne komory lecznicze są w pełni zinformatyzowane i zautomatyzowane. Personel techniczny komory HBO musi niezwodne znać i obsługiwać procesy sterowania automatycznego przebiegiem ekspozycji leczniczej z uwzględnieniem działań podczas procesów przekroczeń parametrów i alarmów.

Natomiast *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre 2004* [8] zaleca poniższe umiejetności Operatora Komory HBO wieloosobowej:

1. Znajomość działania instalacji wewnętrznych i zewnętrznych komory.
2. Kontrola i działanie układów kompresji i dekompresji, oraz do dostarczania mieszanin gazowych i tlenu.

for treatment under the conditions of for treatment under the conditions of overpressure. Be able to perform basic measurements of the parameters of atmosphere composition and the level of harmful admixtures in the air and the chamber atmosphere (optional).
7. Know the basics of the physiology of the human exposure to elevated pressure as well as the rules of conduct in conditions endangering the safety of people in the chamber.
8. Know how to convert units and calculate the amount of gases and consumables for the preparation and stay of a patient or patients under pressure.
9. Be familiar with the organisation of conducting therapeutic procedures, including the scope of tasks and responsibilities of the HBO chamber technician.

Modern medical chambers are fully computerised and automated. The technical personnel of the HBO chamber must be able to know and operate the processes for controlling the automatic course of the therapeutic exposure, including actions during overrun processes and alarms.

Whereas *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre 2004* [8] recommends the following skills of a Multiple Person HBO Operator:

1. Knowledge of the operation of internal and external chamber installations.
2. Control and operation of compression and decompression systems, and gas/oxygen mixture supply systems.
3. Control and application of safety regulations for the prevention of fire and oxygen toxicity.
4. Selection, application and control of the compression and decompression procedure for the patient and members of the medical team protecting the patient in the chamber. Knowledge of decompression and its implementation when necessary.
5. The ability to transfer into the chamber while under pressure, in order to check the proper functioning of the respiratory and safety installations of the chamber.
6. Preparation and control of medical equipment prior to its placement in the chamber to ensure its proper functioning and to avoid dangerous or undesirable effects.
7. Operation of chamber auxiliary equipment: air compressors, sources of compressed air or medical gases, air storages, gas installation and pressure exposure control systems.
8. Maintenance of the chamber's operational readiness.
9. Performance of minor repair work or technical intervention not requiring highly specialised technical personnel.

At first glance, when comparing these requirements, no major differences can be seen between the qualifications of diving chamber operators (the national specialisation of a Diving System Operator, international and according to IMCA a Life Support Technician)

However, significant differences exist:

- the operator of the HBO chamber must be qualified to be under pressure (be a diver or a caisson worker), which is not provided for in

3. Kontrola i stosowanie przepisów bezpieczeństwa dotyczących zapobiegania pożarom i toksyczności tlenowej.
4. Dobór, stosowanie i kontrola procedury kompresji i dekompresji dla pacjenta i członków ekipy medycznej zabezpieczającej pacjenta w komorze. Znajomość dekompresji i jej prowadzenie gdy jest to konieczne.
5. Zdolność do transferu do wewnętrza komory pod ciśnieniem, w celu sprawdzania prawidłowego działania instalacji oddechowych i zabezpieczających pracę komory.
6. Przygotowanie i kontrola wyposażenia medycznego przed wprowadzeniem go do komory, w celu zapewnienia jego prawidłowego działania oraz uniknięcia niebezpiecznych lub niepożądanych skutków.
7. Obsługa urządzeń pomocniczych komory: sprężarek powietrza, źródeł sprężonego powietrza lub gazów medycznych, magazynów powietrza, instalacji gazowej i układów sterowania procesem ekspozycji ciśnieniowej.
8. Utrzymanie gotowości komory do pracy.
9. Wykonanie niewielkich prac naprawczych lub interwencji technicznej nie wymagającej wysoko wyspecjalizowanego personelu technicznego.

Porównując te wymagania, na pierwszy rzut oka nie widać wielkich różnic pomiędzy kwalifikacjami operatorów komór nurkowych (krajowa specjalność Operator Systemów Nurkowych międzynarodowa i wg. *IMCA Life Suport Technician*).

Istnieją jednak istotne różnice:

- operator komory HBO musi mieć kwalifikacje do przebywania pod ciśnieniem (być nurkiem czy pracownikiem kesonowym) czego nie przewidują dokumenty formalne dla personelu obsługi komór,
- brak jest wymagań prowadzenia zabiegów higienicznych i dekontaminacyjnych sprzętu i wyposażenia komory, jak i całego jej wnętrza, co jednak należy do obowiązków operatów komór nurkowych,
- nie przewidziano tak ważnej umiejętności jak obsługa systemów utrzymania życia i parametrów atmosfery w komorze HBO,
- pominięto sprawy pomiarowe, elektrycznw i informatyczne.

Dokument–*Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre 2004* [8] zaleca, by operatorzy komór HBO pochodzili głównie z komercyjnego środowiska nurkowego. Autorzy *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre* [8] uważają, że operatorzy komór HBO mogą mieć inne kwalifikacje. Jeżeli pochodzą z zawodów niezwiązanych ze służbą zdrowia, będą musieli nauczyć się podstawowych zagadnień medycznych, ponieważ będą mieli kontakt z pacjentami. Niektóre zawody paramedyczne mogą być dobrą podstawą dla szkolenia kandydata i ułatwią uzyskanie kwalifikacji operatora komory. Zdecydowanie jednak, jeżeli nie profesjonalne kwalifikacje nurkowe, to u kandydata na operatora komory HBO pożądane byłoby wykształcenie techniczne, z wachlarza specjalności mechanicznych.

Dodatkowe kwalifikacje techniczne oraz udokumentowane uprawnienia do np. obsługi i napełniania zbiorników ciśnieniowych a także elektryczne do 1kV powinny być szczególnie wymagane od

the formal documents for chamber personnel,

- there are no requirements to carry out hygienic and decontamination activities for the equipment and accessories of the chamber and its entire interior, which, however, is the responsibility of diving chamber operators,
- no skill as important as operating life support systems and maintaining the atmosphere in the HBO chamber is foreseen,
- omission of electrical and IT measurement issues.

The document *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre 2004* [8] recommends that HBO chamber operators should come mainly from commercial diving environments. The authors of *Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre* [8] believe that HBO chamber operators may have other qualifications. If they originate from non-medical professions, they will have to learn basic medical issues as they are going to have contact with patients. Some paramedical professions can be a good basis for training a candidate and will facilitate the qualification of a chamber operator. However, definitely, the candidate for the HBO chamber operator qualification would need a technical education from a variety of mechanical specialties.

Additional technical qualifications and documented authorisation for e.g. operation and filling of pressure vessels as well as electrical authorisations up to 1kV should be particularly required for operators in hyperbaric centres not located within hospitals or other structures with a 24-hour duty team. The ability to cope with a failure of e.g. the electrical power supply may be decisive for the survival of the people being treated in the chamber.

TECHNICAL SUPERVISION STAFF

Introduction to the therapy in HBO chambers and their operation require the supervision of specialists and experts who conduct audits and reviews of the quality of the technical supervision and maintenance and help ensure that the safety requirements necessary for preserving the CE mark are met. The supervision should be selected according to the treatment tasks and purpose of the chambers. Of course, the persons performing the audits and reviews are not strictly the personnel of a given hyperbaric centre, but the role of these persons cannot be overestimated. The development of the scope of inspections, technical and therapeutic procedures and accompanying formal documents requires the participation of specialists and experts from many fields. The main role is played by medical specialists taking into account the requirements of technical and other specialists, e.g. fire protection, IT specialists, etc.

The supervisory staff, like in other countries, should be trained at scientific or academic centres. This is a task for the Ministries of Health and Higher Education. Both in medicine and in hyperbaric medicine, in line with the well-established practice in the EU for people who already work at the level of specialists and experts/consultants in their country according to *ECHM-EDTC Educational and Training Standards for Diving and Hyperbaric Medicine 2011* [11], it is necessary to provide for the absolute participation of these people in the new rules for accreditation and specialised training. In order to

operatorów w ośrodkach hiperbarycznych, nie znajdujących się w obrębie szpitali, czy innych struktur dysponujących kadrą specjalistów dyżurujących całą dobę. Umiejętność radzenia sobie z awarią np. zasilania elektrycznego, może decydować o przeżyciu osób leczonych w komorze.

TECHNICZNA KADRA NADZORCZA

Wprowadzenie do leczenia komór HBO i ich eksploatacja wymagają nadzoru specjalistów i ekspertów, którzy działają w ramach audytów i przeglądów wynikających z nadzoru technicznego, utrzymania poziomu jakości i spełnienia warunków bezpieczeństwa zachowania znaku CE. Nadzór powinien być dobrany do zadań leczniczych i przeznaczenia komór. Oczywiście, osoby dokonujące kontroli i przeglądów nie są *sensu stricte* personelem danego ośrodka hiperbarycznego, jednak rola tych osób jest nie do przecenienia. Opracowanie zakresu przeglądów, procedur technicznych i leczniczych oraz towarzyszących im dokumentów formalnych wymaga udziału specjalistów i ekspertów z wielu dziedzin. Główną rolę odgrywają specjaliści medyczni, uwzgledniający wymagania specjalistów technicznych oraz z innych dziedzin np. ochrony ppoż., informatyków itp.

Kadrę nadzorczą, wzorem innych państw, powinny przygotować ośrodki naukowe lub akademickie. Jest to zadanie dla ministerstw Zdrowia i Szkolnictwa Wyższego. Tak w medycynie jak i w technice hiperbarycznej, zgodnie z ugruntowaną praktyką w UE w odniesieniu do osób, które już pracują na poziomie specjalistów i ekspertów/konsultantów w swoim kraju, *ECHM-EDTC Educational and Training Standards for Diving and Hyperbaric Medicine 2011* [11], powinien być określony bezwzględny udział tych osób w nowych zasadach akredytacji i specjalistycznych szkoleń. W celu zarejestrowania tych osób w ramach programu nadzoru, powinno być uznane ich wieloletnie doświadczenie jako uznanych praktyków. Powinni być oni wpisani do odpowiedniego rejestru prowadzenia nadzoru. Okres który wymagany jest dla statusu specjalisty został ustanowiony przez UE na minimum 8 lat praktyki. Poziom eksperta z reguły podparty jest statusem naukowym i osiąga się go po następnych 8-miu latach w/g unijnych zaleceń ECHM. Okresy te dotyczą specjalistów medycznych i można je przyjąć dla specjalistów i ekspertów technicznych. W technice hiperbarycznej w naszym kraju jest bardzo wąskie grono specjalistów technicznych, nieco szersze specjalistów medycznych.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest kwalifikacja zdrowotna pracowników, dla których obciążeniem związanym ze stanowiskiem pracy jest pobyt w warunkach podwyższonego ciśnienia. Niestety, polska służba medycyny pracy zupełnie nie radzi sobie z tym problemem.

Jedynym aktem normatywnym określającym (poza MON i MSWiA) wymagania zdrowotne w stosunku do pracowników wykonujących pracę w warunkach hiperbarii, jest Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych [16], ostatnio nowelizowane w 2019 roku. Określa ono jasno zakres badań, jakim powinna być poddana osoba narażona na hiperbarię podczas wykonywania pracy zawodowej. Znajdują się tam również konkretne zapisy mówiące o kwalifikacjach lekarzy uprawnionych do orzekania w tej materii.

Tymczasem praktyka, zarówno pojedynczych lekarzy medycyny pracy, jak i Wojewódzkich Ośrodków

register these persons under the supervision programme, their long experience as recognised practitioners should be considered. They should be entered in the relevant register for conducting supervision. The period required for the status of a professional has been established by the EU as being an individual with a minimum of 8 years experience. The expert level is generally underpinned by scientific status and is achieved after a further 8 years according to EU ECHM recommendations. These periods concern medical specialists and can be accepted for specialists and technical experts. In hyperbaric technology, there is a very small group of technical specialists in our country, the circle of medical specialists is slightly wider.

A very important issue is the health qualification of employees for whom the workplace is burdened with high pressure conditions. Unfortunately, the Polish occupational medicine service does not deal with this problem at all.

The only normative act defining (apart from the Ministry of National Defence and the Ministry of Internal Affairs and Administration) the health requirements for workers performing work in hyperbaric conditions is the Regulation of the Minister of Health on the health conditions for performing underwater works [16] last amended in 2019. It clearly defines the scope of examinations to which a person exposed to hyperbaric conditions should be subjected during their work. There are also specific provisions on the qualifications of the doctors who are entitled to issue diagnoses in this area.

Meanwhile, the practice of both individual occupational physicians and Provincial Occupational Medicine Centres is fundamentally different. Employees of hyperbaric facilities are usually examined like officials. Health risks at work are usually defined in references to sedentary work, exposure to computer radiation, etc. Sometimes stresses related to a specific medical specialty are added. However, there is NO practice of testing for suitability for work in high pressure conditions. In this case, there is a joint action, presumably agreed upon, that the employer be required to refer staff to proper examinations or the inspection authorities choose not to pay attention to the lack of proper staff examinations. Among employers, this is partly due to ignorance and a lack of tendency to obtain such knowledge, especially in small private centres, but it is not difficult for the authors to indicate the reason why this practice is tolerated by control centres.

Exposing staff, and in particular completely random people such as chamber assistants, will inevitably result in accidents. Litigation and compensation will probably force employers to ensure that staff are properly qualified or perhaps also attract the interest of the controlling authorities.

As far as determination of the fitness for work in hyperbaric conditions is concerned, as opposed to professional qualifications for this work, there are specific and logical provisions in Poland, the adherence to which would ensure workers' health security. Unfortunately, only few hyperbaric treatment centres, both public and private, apply in practice the recommendations of the Regulation of the Minister of Health and direct their employees to the relevant examinations and practitioners.

CONCLUSION

The problem of the qualification of technical staff has been reported for years by centres and institutions with HBO chambers. Based on international solutions, they

Medycyny pracy jest z goła inna. Pracownicy placówek hiperbarycznych badani są najczęściej jak urzędnicy. Obciążenia zdrowotne w pracy określane są w skierowaniach najczęściej jako praca siedząca, narażenie na promieniowanie komputera itd. Czasem dodawane są obciążenia związane z konkretną specjalnością medyczną. Natomiast NIE ma praktyki badania pod względem przydatności do pracy w warunkach podwyższonego ciśnienia. W tej sprawie istnieje działanie wspólne i zapewne w porozumieniu, aby nie kierować na właściwe badania ze strony pracodawcy i nie zwracać uwagi na brak właściwych badań pracowniczych ze strony organów kontroli. Wśród pracodawców częściowo, szczególnie w małych ośrodkach prywatnych wynika to z niewiedzy i braku tendencji do uzyskania tej wiedzy, natomiast nie trudno jest autorom wskazać przyczynę, dla której ta praktyka jest tolerowana przez ośrodki kontrolne.

Narażanie personelu, a szczególnie osób często zupełnie przypadkowych jakimi są asystenci komorowi, z pewnością zaowocuje w końcu wypadkami. Zapewne procesy sądowe i odszkodowania zmuszą pracodawców do dbania o właściwa kwalifikację zdrowotną pracowników, a może spowodują też zainteresowanie sprawą instytucji kontrolujących.

W kwestii orzekania do zdolności do pracy w hiperbarii, w przeciwieństwie do kwalifikacji zawodowych do tej pracy, istnieją w Polsce konkretne i logiczne przepisy, których przestrzeganie zapewniłoby bezpieczeństwo zdrowotne pracowników. Niestety, tylko pojedyncze ośrodki leczące hiperbarią, zarówno państwowe jak i prywatne, stosują w praktyce zalecenia Rozporządzenia Ministra Zdrowia i kierują swoich pracowników na odpowiednie badania i do odpowiednich orzeczników.

PODSUMOWANIE

Problem kwalifikacji personelu technicznego jest od lat zgłaszany przez ośrodki i instytucje posiadające komory HBO. Wzorując się na rozwiązaniach międzynarodowych, powinno się je wdrożyć, uwzględniając specyfikę naszego kraju, logikę i zdrowy rozsądek. Problemy te powinny rozwiązać istniejące w kraju instytucje nadzorcze, na podstawie wniosków specjalistów i ekspertów medycznych oraz technicznych.

Konieczne jest także wprowadzenie regulacji prawnych, kodyfikujących działanie ośrodków hiperbarycznych, co z jednej strony podniosłoby bezpieczeństwo a z drugiej ograniczyło aktywność korzystających z mody na „tlen hiperbaryczny" hochsztaplerów.

should be implemented taking into account the specificity of our country, logic and common sense. These problems should be solved by the existing domestic supervisory institutions on the basis of conclusions of medical and technical specialists and experts.

It is also necessary to introduce legal regulations codifying the operation of hyperbaric centres, which would, on the one hand, increase safety and, on the other hand, limit the activity of fraudsters benefiting from the fashion for "hyperbaric oxygen".

REFERENCES

1. Siermontowski P., Janas B., Olszański R.: Formal and professional requirements for the staff of hyperbaric centres. Part 1. PolHypRes 2017; 4(61), 7-14 DOI: 10.1515/phr-2017-0017;
2. Sieroń A, Cieślar G. Zarys Medycyny Hiperbarycznej α –medica press Bielsko – Biała 2006; 235. Polish [Outline of hyperbaric medicine]. ISBN 83-88778-97-8;
3. https://www.prawo.egospodarka.pl/akty/dziennik-ustaw/2016/000/694, data pobrania 2019-11-17;
4. A european code of good practice for hyperbaric oxygen therapy. Opracowane przez Grupę Roboczą «SAFETY» Programu COST B14 «HYPERBARIC OXYGEN THERAPY» Maj 2004;
5. https://www.prawo.egospodarka.pl/akty/dziennik-ustaw/2013/000/1562 data pobrania 2019-11-17;
6. https://www.infor.pl/akt-prawny/DZU.2011.174.0001039,ustawa-o-zawodach-pielegniarki-i-poloznej.html data pobrania 2019-11-17;
7. http://www.ckppip.edu.pl/poziome-menu/archiwum/programy-ksztalcenia-2/specjalizacje.html data pobrania 2019-11-17;
8. Educational And Training Standards For The Staff Of Hyperbaric Medical Centre 2004;
9. Schorow S. The Air in There NFPA Journal January 3, 2017;

10. https://www.infor.pl/akt-prawny/DZU.2010.126.0000856,rozporzadzenie-ministra-infrastruktury-w-sprawie-szkolenia-i-egzaminowania-osob-ubiegajacych-sie-o-uprawnienia-do-wykonywania-prac-podwodnych.html, data pobrania 2019-11-17;
11. ECHM. Recommendations of the 7th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine. Lille, France 2004;
12. Classification and Compensation Division Job Class Profile: Hyperbaric Technical and Safety Coordinator. Government of New Founland and Labrador Canada 2005;
13. Skrzyński S. i wsp. Technologia Nurkowania Saturowanego w Kompleksie Nurkowym AF-2 Część II. Realizacja Nurkowania Saturowanego LOTOS Petrobaltic 2011; [Saturated Diving Technology in the AF-2 Diving Complex Part II. Implementation of Saturated Diving by LOTOS Petrobaltic 2011];
14. The Act of October 17, 2003 on the performance of underwater works. Dz. Of Laws No. 199, item 1936, of 2004. No. 273, item 2703, of 2005. No. 155, item 1298 and of 2007, No. 64, item 428;
15. IMCA D 013 Offshore Diving Supervisor and Life Support Technician Certification;
16. Regulation of the Minister of Health of September 17, 2007 on the health conditions for performing underwater works. Acts U. 2007 item 1440.

dr hab. med. Piotr Siermontowski, prof. AMW
Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademii Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia
p.siermontowski@amw.gdynia.pl

THE INFLUENCE OF THE FLUSHING METHOD ON THE STABLE OXYGEN CONTENT IN THE SCR[1] CRABE BREATHING LOOP IN THE DECOMPRESSION PHASE

WPŁYW METODY PŁUKANIA NA STABILNĄ ZAWARTOŚĆ TLENU W PRZESTRZENI ODDECHOWEJ APARATU NURKOWEGO SCR[1] CRABE W FAZIE DEKOMPRESJI

Arkadiusz Woźniak

Department of Underwater Works Technology of the Polish Naval Academy, Gdynia, Poland
Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Maintaining a stable oxygen content in the breathing loop of the diving apparatus with a semi-closed respiratory circuit is essential for the safety of underwater mine clearance operations. This article discusses the influence of modified methods of flushing the breathing apparatus on the quality of the breathing loop ventilation process. The problem of flushing an apparatus is presented in light of the Polish Naval Academy's change from statistical to deterministic decompression schedules, based on the model of apparatus ventilation, oxygen toxicity hazard and decompression. The examination and determination utilising the required accuracy of the method used for flushing the breathing loop of the device allowed to assess the stable oxygen content during the decompression phase. The assumptions were verified based on a system for measuring oxygen content in the breathing loop.
Keywords: diving apparatus, breathing gas for hyperbaric purposes, flushing process, diving technology.

Utrzymanie stabilnej zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa wykonywania podwodnych działań minerskich. W artykule podjęto tematykę wpływu modyfikacji metod płukania aparatu oddechowego na jakość procesu wentylacji przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego. Zagadnienie płukania aparatu przedstawiono w świetle zmiany podejścia AMW ze statystycznego na deterministyczne opracowywania rozkładów dekompresji, opartego na modelu: wentylacji aparatu, zagrożenia toksycznością tlenową oraz dekompresji. Poznanie i ustalenie z wymaganą dokładnością metody płukania przestrzeni oddechowej aparatu pozwoliło na ocenę stabilnej zawartości tlenu w fazie dekompresji. Założenia weryfikowano w oparciu o system pomiarowy zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej.
Słowa kluczowe: aparat nurkowy, czynnik oddechowy do celów hiperbarycznych, proces płukania, technologia prac podwodnych.

Поддержание стабильного содержания кислорода в дыхательном пространстве аппарата для ныряния с полузакрытым кругом дыхательного фактора имеет существенное значения для безопасности выполнения подводных минерских действий. В статье рассмотрена тематика влияния модификации методов полоскания дыхательного аппарата на качество процесса вентиляции дыхательного пространства аппарата для ныряния. Вопросы полоскания аппарата представлены в счете изменения подхода AMW со статистического на детерминистические разработки расклада компрессии. Понимание и определение с необходимой точностью метода полоскания дыхательного пространства аппарата позволило оценить стабильное содержание кислорода в фазе декомпрессии. Гипотезы проверялись на основании системы измерения содержания кислорода в дыхательном пространстве.
Ключевые слова: аппарат для ныряния, дыхательный фактор для гипербарических целей, процесс полоскания, технология подводных работ.

Die Aufrechterhaltung eines stabilen Sauerstoffgehalts im Atemraum eines halbgeschlossenen Atemschutzgeräts ist für die Sicherheit von Unterwasser-Minenräumpersonal von wesentlicher Bedeutung. Der Artikel erörtert die Auswirkungen modifizierter Methoden der Atemgerätespülung auf die Qualität des Prozesses der Atemraumbelüftung von Tauchgeräten. Die Frage der Spülung von Geräten wird vor dem Hintergrund des Wechsels des AMW-Ansatzes von statistischen zu deterministischen Dekompressionsabfällen dargestellt, und zwar basierend auf dem Modell: Apparateventilation, Gefahr der Sauerstofftoxizität und Dekompression. Das Wissen und die Bestimmung der Methode der Atemgerätespülung mit der erforderlichen Genauigkeit erlaubte die Beurteilung des stabilen Sauerstoffgehaltes in der Dekompressionsphase. Die Annahmen wurden auf der Grundlage des Messsystems für den Sauerstoffgehalt im Atmungsraum verifiziert.
Schlüsselwörter: Tauchgeräte, hyperbares Atemmedium, Spülprozess, Unterwassertechnik.

Mantener un contenido estable de oxígeno en el espacio de respiración de un aparato respiratorio semicerrado es esencial para la seguridad para las labores de minería submarina. El artículo trata sobre la influencia de la modificación de los métodos modificados de enjuague de los reguladores en la calidad del proceso de ventilación del espacio de respiración de los reguladores de buceo. La cuestión del enjuague de los reguladores se presenta a la luz del cambio en el enfoque de la Agencia de Propiedad Militar (AMW) sobre los decaimientos de descompresión estadísticos a los determinantes, basados en el modelo: ventilación de los aparatos, riesgos de toxicidad del oxígeno y descompresión. El conocimiento y la determinación con la precisión requerida del método de enjuague del espacio respiratorio del regulador permitieron evaluar el contenido estable de oxígeno durante la fase de descompresión. Las suposiciones se comprobaron sobre la base de un sistema de medición del contenido de oxígeno en el espacio respiratorio.
Palabras clave: regulador de buceo, medio de respiración hiperbárico, proceso de enjuague, tecnología de trabajos submarinos.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 70 Issue 1 pp. 21 – 42
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2020-0002
Pages: 22, figures: 16, tables: 4
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 14.12.2019 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 25.01.2020 r.

WSTĘP

Wycofanie z $SZRP$ aparatów nurkowych $FGT\ I/D$[2] spowodowało konieczność wprowadzenia [1][3] do użytkowania[4] odpowiadających wymaganiom $SZRP$ i $NATO$[5,6] [2,3] aparatów nurkowych o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego $SCR\ CRABE$ [4]. Pozyskana technologia nurkowania wymagała walidacji[7] z uwzględnieniem uwarunkowań krajowych oraz potrzeb $MWRP$ w zakresie wykonywania podwodnych działań minerskich MCM[8] i EOD[9]. Weryfikacja naukowa przyjętych założeń, opracowanie modelu wentylacji oraz rozkładów dekompresji ze względów obligatoryjnych[10] wymagała zlecenia przez $NCBiR$[11] wykonania pracy naukowo-badawczej. Walidację nowej technologii wykonywania podwodnych działań minerskich[12] [9] oraz EOD z użyciem $SCR\ CRABE$ powierzono $ZTPP\ AMW$ w ramach umowy: $DOBR/0047/R/ID1/2012/03$ pt. „Projektowanie dekompresji dla nurkowań MCM"[13].

W ramach realizacji powyższego zadania projektowego opracowano m.in. na poziomie wynikowym technologie nurkowań z użyciem mieszanin nitroksowych Nx32,5%O_2 w zakresie głębokości $45-60m\ H_2O$[14] z zastosowaniem dekompresji tlenowej i nitroksowej. Kontynuacja przyjętej do realizacji koncepcji badań jest obecnie realizowana w ramach pracy naukowo-badawczej pk:. Tulipan IV umowa Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016, pt.: „Projektowanie dekompresji dla nurkowań $MCM/EOD\ II$". Głównym celem jest opracowanie na poziomie walidacyjnym technologii nurkowań nitroksowych w zakresie 0-60mH_2O odpowiadającej systemowi II wg. $NO-07-A010{:}2010$ [6]. Uzyskanie rodzimej technologii pozwoli na przełamanie dotychczasowych barier i ograniczeń wykorzystania aparatu $SCR\ CRABE$[15] [10] oraz istotne zwiększenie zdolności operacyjnych $MWRP$ [5] w zakresie realizacji zadań MCM.

SYTUACJA PROBLEMOWA

W ramach realizowanych badań nad opracowaniem technologii nurkowania wykonano szereg prac mających na celu ustalenie modelu wentylacji aparatu nurkowego. Jak pokazała analiza kontekstu[16] związanego z procesem projektowania dekompresji dla aparatu $SCR\ CRABE$ należało podjąć działania zmierzające do ustalenia efektywnej metody przepłukania przestrzeni oddechowej aparatu. W trakcie nurkowań eksperymentalnych w przestrzeni oddechowej aparatu obserwowano zmiany zawartości tlenu[17] względem ustalonych granic tolerancji[18]. Obserwację zachodzących zmian minimalnej stabilnej zawartości tlenu wykonano dla $premiksowych$ mieszanin nitroksowych Nx 60,0%vO_2/N_2, Nx 40,0%vO_2/N_2 oraz Nx 32,5%vO_2/N_2. Badania prowadzono w trakcie procesu przepłukania aparatu O_2 w fazie dekompresji realizowanej w toni wodnej od głębokości 15m H_2O. Jak wiadomo w aparatach o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego występuje względny spadek zawartości O_2 do wartości stabilnej w przestrzeni oddechowej względem pierwotnej zawartości tlenu w $premiksie$. Zjawisko to spowodowane jest mieszaniem się zregenerowanego czynnika oddechowego ze świeżym $premiksem$[19].

Z opracowanego w trakcie odrębnych badań modelu wentylacji SCR CRABE wynika, że stabilne ciśnienie cząstkowe w przestrzeni oddechowej aparatu

INTRODUCTION

The withdrawal of FGT I/D[2] diving devices from the Armed Forces of the Republic of Poland (SZRP) made it necessary to introduce [1][3] into use[4] SZRP and NATO[5,6] compliant [2,3] SCR CRABE semi-closed rebreathers[4]. The acquired diving technology necessitated validation[7] taking into account national circumstances and the needs of the Navy of the Republic of Poland with regard to the performance of MCM[8] and EOD[9] operations. Scientific verification of the adopted assumptions, development of the ventilation model and decompression schedules due to obligatory reasons[10] required the $NCBiR$[11] to commission scientific and research work. Validation of the new technology of performing underwater mine clearance operations[12] [9] and EOD with the use of SCR CRABE was entrusted to ZTTP AMW under the contract DOBR/0047/R/ID1/2012/03 "Decompression design for MCM dives"[13].

As part of the above mentioned project task, diving technologies with the use of Nx 32.5%O2 nitrox mixes in the depth range of $45-60m\ H_2O$[14] with the use of oxygen and nitrox decompression were developed at the result level. The study design that has been approved for implementation now continues as part of research work: Tulipan IV agreement No.: DOBR-BIO8/09/01/2016, entitled: "Designing decompression for $MCM/EOD\ II$ diving". The main objective is to develop nitrox diving technology at the validation level in the range of 0-60mH2O corresponding to the system II according to $NO-07-A010{:}2010$ [6]. Developing homebred technology will facilitate a breakthrough of existing barriers and limitations in the use of the $SCR\ CRABE$[15] apparatus [10] and significantly increase the operational capacity of the $Polish\ armed\ forces$ [5] in the implementation of MCM tasks.

PROBLEM SITUATION

As part of the research on the development of diving technology, a number of works have been carried out in order to establish a methodology for diving apparatus ventilation. As shown by the analysis of the context[16] related to the process of designing decompression for the $SCR\ CRABE$ apparatus, actions had to be taken to establish an effective method of flushing the breathing loop of the apparatus. In the course of experimental dives using the breathing loop of the apparatus, changes in oxygen[17] content in relation to the established tolerance[18] limits were observed. The observation of the changes that were taking place in the minimum stable oxygen content was made for premix nitrox mixtures of Nx 60.0%v$\frac{O_2}{N_2}$, Nx 40.0%v$\frac{O_2}{N_2}$ and Nx 32.5%vO_2/N_2. Research was carried out in to the process of flushing the apparatus with O_2 in the decompression phase carried out in water from a depth of 15 m H_2O. As it is known, apparatus with a semi-closed respiratory circuit features a relative decrease in the content of O_2 to a stable value in the breathing loop relative to the original oxygen content in the premix. This phenomenon is caused by mixing the regenerated respiratory gas with fresh premix[19].

The SCR CRABE ventilation model developed in the course of separate studies shows that stable partial pressure in the breathing loop of the diving apparatus depends, among other things, on the diving depth, while the process of flushing the breathing loop of the apparatus is equally effective at any depth [8]. During the dive,

nurkowego zależy m.in. od głębokości nurkowania, natomiast proces płukania przestrzeni oddechowej aparatu jest jednakowo skuteczny na każdej głębokości [8]. W trakcie nurkowania w zależności od rodzaju zastosowanego premiksu ciśnienie cząstkowe nie powinno ulec zmianie poniżej ustalonej granicy fizjologicznej oraz przekraczać ustalonych wartości granicznych wynikających z możliwości wystąpienia tlenowej toksyczności mózgowej CNS[20].

CEL PRACY

Opracowany w ramach projektu system dekompresji składa się z następujących tabel:

- Tabeli dekompresji zasadniczej Nx/O_2 i akcelerowanej: Nx i Nx/O_2 dla aparatu $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ zasilanego Nx: $32{,}5^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ w zakresie głębokości $[27 \div 60] mH_2O$.
- Tabeli dekompresji zasadniczej Nx/O_2: Nx i Nx/O_2 dla aparatu $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ zasilanego nNx: $40{,}0^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ w zakresie głębokości $[24 \div 48] mH_2O$.
- Tabeli dekompresji bezpośredniej Nx/O_2 dla aparatu $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ zasilanego Nx: $60{,}0^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ w zakresie głębokości $[0 \div 24) mH_2O$

Na pewnym etapie badań projektowych baza wiedzy umożliwiła rozdzielenie modelu wentylacji, planowania dekompresji analizowanego systemu i przebiegających w nim procesów. Ustanowienie modeli pozwoliło na zmianę podejścia statystycznego na częściowo deterministyczne, a podstawą opracowywania rozkładów dekompresji było ustalenie modelu modułu oddechowego, wentylacji, dekompresji i zagrożenia toksycznością tlenową, rys. 1 [11].

depending on the type of premix applied, partial pressure should not change below the established physiological limit and should not exceed the established limits known to increase the possibility of central nervous oxygen toxicity[20].

THE AIM OF THE STUDY

The decompression system developed under the project consists of the following tables:

- A table of basic Nx/O_2 and accelerated Nx and Nx/O_2 decompression for the $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ apparatus powered by Nx: $32{,}5^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ in the depth range of $[27 \div 60] mH_2O$.
- A table of basic decompression Nx/O_2: Nx and Nx/O_2 for the $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ apparatus powered by Nx: $40{,}0^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ in the depth range of $[24 \div 48] mH_2O$.
- A table of direct decompression Nx/O_2 for the $Nx/O_2 - SCR\ CRABE\ SCUBA$ apparatus powered by Nx: $60{,}0^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$ in the depth range of $[0 \div 24) mH_2O$.

At a certain stage of design research, the knowledge base made it possible to separate the ventilation model, decompression planning of the analysed system and the processes taking place in it. The establishment of models made it possible to change the statistical approach to a partially deterministic one, and the basis for the development of decompression schedules was the establishment of a model of a breathing, ventilation, decompression and oxygen toxicity hazard module, Fig. 1 [11].

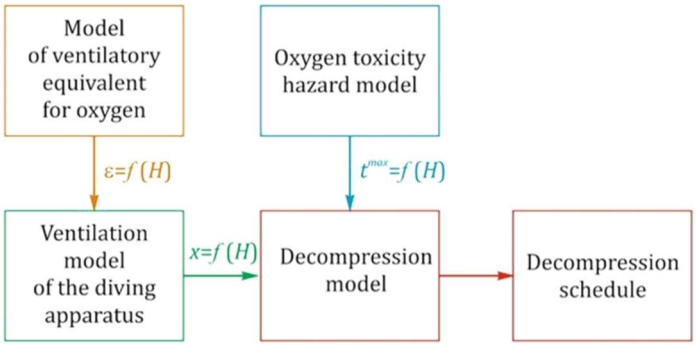


Fig. 1 Model succession. Source: study based on: R. Kłos. Modeling of the diving systems with semi-closed circuit of the breathing agent. UDWG 2015.

Rys.1 Następstwo modeli. Źródło: opracowanie na podstawie: R. Kłos. Modeling of the diving systems with semi-closed circuit of the breathing agent. UDWG 2015.

Ze względu na zmiany w składzie czynnika oddechowego wdychanego przez nurka w fazie dekompresji w zależności m. in. od parametrów konstrukcyjnych aparatu nurkowego, z modelu wentylacji w fazie dekompresji wyodrębniono podproces przepłukania aparatu O_2. Proces ten ze względu na jego przebieg w otoczeniu systemowym stanowiącym kontekst dla analizy zachodzących w nich podprocesów analizowano w ramach podejścia systemowego. Proces

Due to changes in the composition of the breathing gas inhaled by the diver during the decompression phase depending, among other things, on the diving apparatus design parameters, a sub-process of flushing the apparatus with O_2 was singled out from the model of ventilation in the decompression phase. This process, due to its course in the systemic environment, which is the context for the analysis of the sub-processes taking place in them, was analysed with regard to the

powiązano pośrednio z modelem wentylacji jako elementem systemu. Głównym celem było opracowanie efektywnej procedury przepłukania tlenem przestrzeni oddechowej aparatu $SCR\ CRABE$ w ramach przyjętych rozkładów dekompresji dla nurkowań nitroksowych w zakresie $0 - 60mH_2O$.

Na rys. 2 przedstawiono schematycznie analizowany układ oddechowy aparatu (konstrukcja worek w worku) wraz z kierunkiem przepływu strumienia gazu w czasie wdechu i wydechu stanowiący podstawę dla analizy zmian procesowych zachodzących w czasie przepłukania przestrzeni oddechowej z *premiksu*[21], tlenem w fazie dekompresji. Przepłukanie prowadzono w oparciu o implementację zmodyfikowanych[22] wariantów procedury przepłukania tlenem. Modyfikację podprocesu prowadzono w kierunku uzyskania stabilnej wartości ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} względem zdefiniowanej wartości krytycznej.

systemic approach. The process was indirectly connected with the ventilation model as a system element. The main objective was to develop an effective procedure for oxygen flushing of the breathing loop of the $SCR\ CRABE$ apparatus within the adopted decompression schedules for nitrox diving within the range of $0 - 60mH_2O$.

Fig. 2 demonstrates a schematic analysis of the breathing system of the device (bag-in-bag design), together with the direction of gas flow during inhalation and exhalation, which is the basis for the analysis of process changes occurring during the flushing of the premix[21] out of the breathing loop with oxygen during the decompression phase. Flushing was performed based on the implementation of modified[22] variants of the oxygen flushing procedure. The modification of the sub-process was designed to move towards obtaining a stable value of oxygen partial pressure p_{O_2} in relation to a defined critical value.

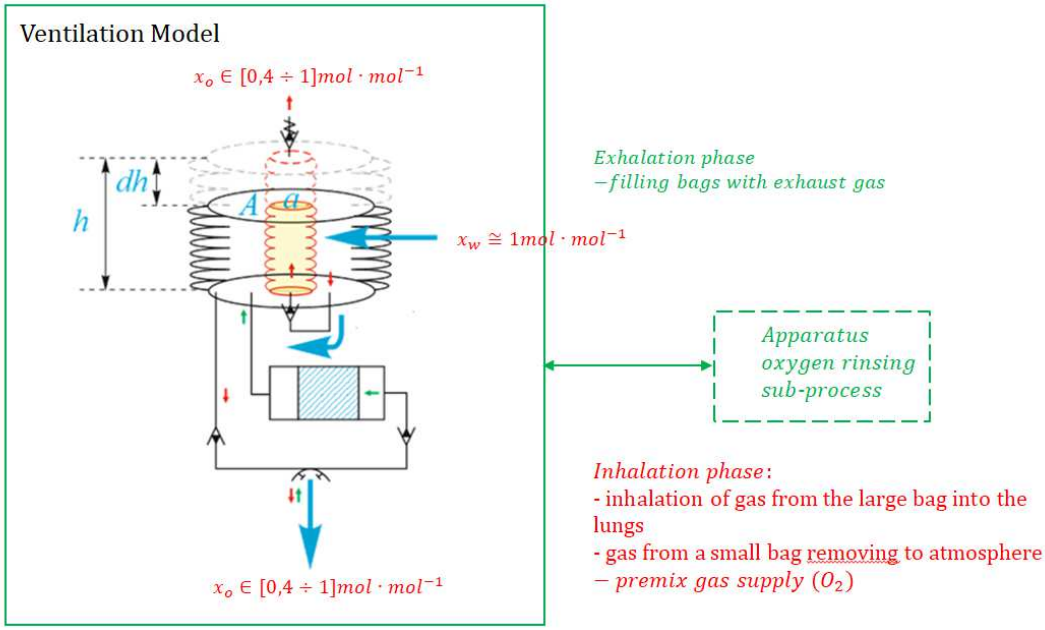


Fig. 2 Breathing system of a SCR CRABE diving apparatus with a semi-closed respiratory circuit. Source: based on: R. Kłos. Modeling of the diving systems with semi-closed circuit of the breathing agent. UDWG 2015.

Rys. 2 Układ oddechowy aparatu nurkowego o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego SCR CRABE. Źródło: opracowanie na podstawie: R. Kłos. Modeling of the diving systems with semi-closed circuit of the breathing agent. UDWG 2015.

W czasie płukania aparatu nurkowego zawartość tlenu we wdychanej mieszaninie nitroksowej należy podnieść płucząc przestrzeń oddechową tlenem. Proces ten polega na sukcesywnej wymianie nitroksu, aż do uzyskania zdefiniowanego stałego i stabilnego poziomu zawartości tlenu o wartości większej niż przyjęte założenia krytyczne[23]. Pierwotnie przyjęta do badań procedura płukania tlenem polegała na wykonaniu 3 wdechów z przestrzeni aparatu i wydechów na zewnątrz, następnie 3 wdechów i wydechów do aparatu. Czynność tą należało powtórzyć do osiągnięcia oczekiwanego efektu, tab. 1.

When flushing the diving apparatus, the oxygen content of the inhaled nitrox mix should be raised by flushing the breathing loop with oxygen. This process involves successive nitrox replacement until a defined constant and stable oxygen content level is reached that is higher than the critical assumptions[23]. The original oxygen flushing procedure approved for the study was based on making 3 inhalations from the apparatus loop and then venting the exhaled gas, followed by 3 inhalations and exhalations into the apparatus. This activity had to be repeated until the expected effect was achieved, Tab.1.

Tab. 1

Types of breathing loop flushing in the $SCR\ CRABE\ apparatus$[24]. Source: Kłos R, Szymański R, Konarski M, Woźniak A, Temporary decompression guidelines for the Nx/O_2 SCR Crabe Scuba diving apparatus. Gdynia 2018.

Rodzaje płukania przestrzeni oddechowej aparatu $SCR\ CRABE$[24]. Źródło: Kłos R, Szymański R, Konarski M, Woźniak A, Tymczasowe wytyczne do dekompresji dla aparatu Nx/O_2 SCR Crabe Scuba. Gdynia 2018.

Rinsing	Rinsing with oxygen or nitrox consists in making 3 inhalations from the breathing space of the device and exhales with the nose out into the water. Flushing with oxygen or nitrox may be performed 1, 2, 3 or more times depending on the moment of the dive.
Oxygen rinsing	rinsing with oxygen consists in enriching the current breathing mix with a mixture containing at least 90% O_2 and is performed from a depth of 15 mH_2 O to the first decompression stop and at the first decompression stop, the time of which is included in the decompression course presented in the decompression table. The procedure of rinsing the breathing space of the apparatus with oxygen consists in taking 3 inhalations from the breathing space of the apparatus and exhaling with the nose out into the water. Then the diver takes 3 inhales and exhales through his mouth into the breathing space of the apparatus. This operation should be performed 3 times.
Nitrox rinsing	rinsing with nitrox consists in enriching the circulating nitrox with oxygen above the content indicated in the decompression tables, the time of which is included in the course of diving and the decompression process. The procedure of rinsing the breathing space of the apparatus with nitrox consists in taking 3 inhalations from the breathing space of the apparatus and exhaling with the nose out into the water. This operation must be performed once.

W opracowanej technologii nurkowania dekompresja tlenowa jest prowadzona w toni wodnej zgodnie z przykładowym rozkładem Tab. 2, po przepłukaniu przestrzeni oddechowej tlenem z aparatu nurkowego lub w systemie otwartym z użyciem XBS[25]. Założenia procedury dekompresji tlenowej wymagają efektywnego przepłukania przestrzeni oddechowej tlenem od głębokości 15 mH_2O tak, aby na głębokości 12 mH_2O (lub pierwszej stacji dekompresji tlenowej) uzyskać wymagane rozkładem stężenie tlenu w pętli oddechowej aparatu nurkowego. Przyjęto, że dekompresję tlenową należy poprzedzić płukaniem przestrzeni oddechowej aparatu tlenem od głębokości 15 mH_2O niezależnie czy jest ona przewidziana w rozkładzie dekompresji jako stacja dekompresyjna czy też nie [5].

W tabelach do projektowania rozkładów dekompresyjnych przyjęto następujące założenia dekompresji tlenowej:

- ✓ dekompresja akcelerowana jest obliczona tylko jako dekompresja tlenowa,
- ✓ nie jest możliwe całkowite wypłukanie resztkowych zawartości azotu z przestrzeni oddechowej aparatu,
- ✓ dekompresja tlenowa wymaga koncentracji tlenu we wdychanym czynniku oddechowym przynajmniej na poziomie $\geq [90]\%v\ O_2$, dopuszczalne są jedynie chwilowe spadki zawartości tlenu $< 0{,}5\ min$ do zawartości pomiędzy $[85;\ 90]\%v\ O_2$ na pierwszej stacji dekompresji tlenowej. W każdym innym przypadku należy podjąć dodatkowe płukanie tlenem przestrzeni oddechowej aparatu celem podniesienia jego zawartości do poziomu $\geq [90]\%v\ O_2$. Jeśli utrzymanie zawartości tlenu $\geq 90\%v\ O_2$ nie jest możliwe należy przejść na dekompresję ekwiwalentną.

In the developed diving technology, oxygen decompression is carried out in the water column according to the example schedule of Tab. 2, after the breathing loop has been flushed with oxygen from the diving apparatus or in an open system using the XBS[25]. The oxygen decompression procedure requires effective flushing of the breathing loop with oxygen from depth of 15 mH_2O so that at the depth of 12 mH_2O (or first oxygen decompression station) the oxygen concentration in the breathing loop of the diving apparatus required by the schedule is achieved. It is assumed that oxygen decompression should be preceded by flushing the breathing loop of the apparatus with oxygen from a depth of 15 mH_2O regardless of whether it is provided for in the decompression schedule as a decompression station or not [5].

The tables for designing decompression schedules use the following assumptions for oxygen decompression:

- ✓ accelerated decompression is calculated only as oxygen decompression,
- ✓ it is not possible to completely flush out the residual nitrogen content from the breathing loop of the apparatus,
- ✓ oxygen decompression requires an oxygen concentration in the inhaled breathing gas to be at least at the level of $\geq [90]\%v\ O_2$,
- ✓ only temporary drops in the oxygen content of $< 0{,}5\ min$ to the content between $[85;\ 90]\%v\ O_2$ at the first oxygen decompression station. In any other case, additional oxygen flushing of the breathing loop of the apparatus must be undertaken in order to raise the oxygen content to the level of $\geq [90]\%v\ O_2$. If the oxygen content of $\geq 90\%v\ O_2$ cannot be maintained, equivalent decompression should be applied.

Tab. 2

Decompression schedule for the SCR Crabe apparatus. Source: Kłos R, Szymański R, Konarski M, Woźniak A, Temporary decompression guidelines for the Nx/O_2 SCR Crabe Scuba apparatus. Gdynia 2018.

Rozkład dekompresji dla aparatu SCR Crabe. Źródło: Kłos R, Szymański R, Konarski M, Woźniak A, Tymczasowe wytyczne do dekompresji dla aparatu Nx/O_2 SCR Crabe Scuba. Gdynia 2018.

Nitrox: $32{,}5^{+0}_{-0{,}5}\%_v O_2$
The rate of compression $v \leq 20\ mH_2O \cdot min^{-1}$
The speed of the transition between Deco stops $\cong 3\ mH_2O \cdot min^{-1}$

Depth	Bottom Time	Time to first deco stop	Deco stops $[mH_2O]$						Total deco time③
			Nx①			$O_2$②			
			18	15	12	9	6	3	
			Deco time						
$[mH_2O]$	$[min]$	$[min]$	$[min]$						$[min]$
48 Basic decompression	10	4	–	–	1	1	1	1	9
	15		–	–	1	1	2	3	12
	20		–	1	2	2	3	7	20
	25⑤		–	2	3	3	4	14	31
48 Acceleration of decompression④	20④	4	–	1	2	2	3	6	19
	25④		–	2	3	3	4	10	27
	30④		1	3	3	4	6	12	34
	35④		2	4	4	4	9	15	43

①minimum concentration of O_2 level $> \mathbf{23{,}4\%O_2}$
②minimum concentration of O_2 level $\geq 90\%O_2$
③includes 1 min transition time from 3 mH_2O deco stop to the surface
④profile not recommended without additional protection by the XBS, because the use of emergency Nx decompression as double the time for oxygen decompression is associated with an increased risk of decompression sickness
⑤profile not recommended without additional protection by the XBS, because the use of emergency Nx decompression as double the time for oxygen decompression is associated with long duration time under the water($\geq 60\ min$)

Uzyskanie zdefiniowanego stałego i stabilnego poziomu zawartości tlenu wynika z przyjętych założeń dekompresyjnych. Najważniejszym z punktu widzenia bezpieczeństwa dekompresji, a zatem i powodzenia realizacji nurkowania jest utrzymanie koncentracji tlenu we wdychanym czynniku oddechowym na poziomie $\geq [90]\%v\ O_2$. Z punktu widzenia realizacji procesu przepłukania aparatu należy zauważyć, że dopuszczono chwilowe spadki $< 0{,}5\ min$ do zawartości pomiędzy $[85 \div 90]\%v\ O_2$ na pierwszej stacji dekompresji tlenowej. W przypadku niespełnienia przyjętych do badań założeń wzrasta prawdopodobieństwo materializacji ryzyka w postaci zaistnienia wystąpienia incydentu DCS.

BADANIA

Jak wspomniano, stabilizacja składu czynnika oddechowego w przestrzeni oddechowej aparatu w fazie dekompresji zależy od procesu dynamicznego mieszania się nitroksu z tlenem. Płukanie tlenem nie gwarantuje, że stan równowagi nastąpi natychmiast. W trakcie eksperymentu zaobserwowano, że skuteczność płukania wzrastała wraz z częstością wykonania procedury płukania, natomiast jego efektywność względna malała wraz ze wzrostem krotności jej wykonania. Podstawę wyprowadzenia zależności [1] zawartości tlenu x_j w funkcji krotności płukania j stanowi bilans molowy tlenu i całej objętości czynnika oddechowego. Bilans ten przedstawiono w tab. 3.

Achieving a defined constant and stable oxygen level results from the decompression assumptions made. Maintaining oxygen concentration in the inhaled breathing gas at the level of $\geq [90]\%v\ O_2$ is the most important from the point of view of decompression safety, and therefore the success of the dive. From the point of view of implementing the device flushing process, it should be noted that temporary drops of $< 0{,}5\ min$ to the content of $[85 \div 90]\%v\ O_2$ between the first oxygen decompression station were allowed. If the assumptions made for the research are not met, the probability of a DCS risk incidence increases.

RESEARCH

As mentioned above, the stabilisation of the breathing gas composition in the breathing loop of the apparatus during the decompression phase depends on the process of dynamic mixing of nitrox with oxygen. Oxygen flushing does not guarantee the immediate state of balance. During the experiment it was observed that the efficiency of flushing increased with the frequency of performing the flushing procedure, while its relative effectiveness decreased with the increased number of performed repetitions.

The basis for deriving a relation [1] of oxygen content x_j as a function of the repeated flushing performance j is the molar balance of oxygen and the whole volume of the breathing gas. This balance is presented in Tab. 3.

$$x_j = x_w + (x_0 - x_w) \cdot (\frac{V_z}{V_c})^j \qquad (1)$$

gdzie: V_c – całkowita objętość przestrzeni oddechowej $[dm^3]$, V_z –całkowita objętość zalegająca w przestrzeni oddechowej $[dm^3]$, x_0 –początowa zawartość tlenu w worku oddechowym wyrażona ułamkiem molowym $[mol \cdot mol^{-1}]$, x_w –ułamek molowy tlenu w *premiksie* $[mol \cdot mol^{-1}]$, j –krotność płukania przestrzeni oddechowej.

Z zależności [1] wynika niezależność zawartości tlenu x_j po j –krotnym płukaniu przestrzeni oddechowej od głębokości $x_j \neq f(H)$ [8].

Przedstawiony bilans molowy tlenu i *premiksu* wynika z procesu wymiany czynnika oddechowego w przestrzeni aparatu nurkowego w fazie jego płukania. Na podstawie bilansu oraz wyprowadzonej z niego zależności zawartości tlenu x_j w funkcji krotności płukania można dokonać obliczeń teoretycznych stanowiących podstawę do dalszej weryfikacji procesu.

$$x_j = x_w + (x_0 - x_w) \cdot (\frac{V_z}{V_c})^j \qquad (1)$$

where: V_c – total volume of the breathing loop $[dm^3]$, V_z – total residual volume in the breathing loop $[dm^3]$, x_0 – initial oxygen content in the breathing bag expressed by a molar fraction $[mol \cdot mol^{-1}]$, x_w – a molar fraction of oxygen in the premix $[mol \cdot mol^{-1}]$, j – number of flushing repetitions in the breathing loop.

The relation [1] shows the independence of oxygen content x_j after a flushing repeated j – times in the breathing loop from the depth of $x_j \neq f(H)$ [8].

The presented molar balance of oxygen and premix results from the process of exchanging the breathing gas in the loop of the diving apparatus in its flushing phase. On the basis of the balance and the relationship between the oxygen content x_j as a function of the number of flushing repetitions, theoretical calculations can be made as a basis for further process verification.

Tab. 3

The molar balance of oxygen and breathing gas in the process of flushing the breathing loop.

Bilans molowy tlenu i czynnika oddechowego w procesie płukania przestrzeni oddechowej.

		Removing	Inflation
Oxygen	Arrives	—	$\frac{p}{p_0} \cdot (V_c - V_z) \cdot x_w$
	Decline	$\frac{p}{p_0} \cdot (V_c - V_z) \cdot x_i$	—
	Remains	$\frac{p}{p_0} \cdot V_z \cdot x_i$	$\frac{p}{p_0} \cdot V_z \cdot x_i + (V_c - V_z) \cdot x_w$
Nitrox	Arrives	—	$\frac{p}{p_0} \cdot (V_c - V_z)$
	Decline	$\frac{p}{p_0} \cdot (V_c - V_z)$	—
	Remains	$\frac{p}{p_0} \cdot V_z$	$\frac{p}{p_0} \cdot V_c$

where: V_c – total volume of the breathing loop $[dm^3]$, V_z – total residual volume in the breathing loop $[dm^3]$, x_0 – initial oxygen content in the breathing bag expressed by a molar fraction $[mol \cdot mol^{-1}]$, x_w – a molar fraction of oxygen in the premix $[mol \cdot mol^{-1}]$, j – number of flushing repetitions in the breathing loop [8].

gdzie: V_c – całkowita objętość przestrzeni oddechowej $[dm^3]$, V_z –całkowita objętość zalegająca w przestrzeni oddechowej $[dm^3]$, x_0 –początowa zawartość tlenu w worku oddechowym wyrażona ułamkiem molowym $[mol \cdot mol^{-1}]$, x_w –ułamek molowy tlenu w *premiksie* $[mol \cdot mol^{-1}]$, j –krotność płukania przestrzeni oddechowej [8].

Podczas prac prowadzonych w warunkach laboratoryjnych weryfikowano założenia teoretyczne poczynione dla zmodyfikowanych procedur płukania przestrzeni oddechowej aparatu $SCR\ CRABE$ w oparciu o system pomiarowy $DGKN - 120$, rys. 3. Pomiary stanowiskowe, choć mniej dokładne niż laboratoryjne przyjęto jako dostatecznie wiarygodne dla oceny granic zmienności krytycznej wartości stabilnej tlenu.

During the works carried out in the laboratory, the theoretical assumptions made for the modified procedures for flushing the breathing loop of the $SCR\ CRABE$ apparatus were verified on the basis of the $DGKN - 120$ measurement system, Fig. 3. Test-stand measurements, although less accurate than laboratory measurements, are assumed to be sufficiently reliable for the assessment of the limits of critical variation of the stable oxygen value.

Fig. 3 The general view of the control station of the $DGKN - 120$ measurement system in $ZTPP\ AMW$. Source: own work.

Rys. 3 Widok ogólny stanowiska kontrolnego systemu pomiarowego $DGKN - 120$ w $ZTPP\ AMW$. Źródło: opracowanie własne.

Modyfikacje procesu płukania tlenem przestrzeni oddechowej aparatu $SCR\ CRABE$ przedstawiono w tab. 4. W trakcie eksperymentów wykonano ocenę sześciu wariantów modyfikacji parametrów analizowanego procesu. Obecnie kontynuowane są badania dla wariantu $Nr\ VI$ tab. 4.

Modifications of the process of oxygen flushing in the breathing loop of the $SCR\ CRABE$ apparatus are presented in Tab. 4. In the course of experiments, six variants of parameter modification in the analysed process were evaluated. At present, the research is focusing on variant $no.\ VI$ Tab.4.

Tab. 4

Methods of flushing the breathing loop of the $SCR\ CRABE$ diving apparatus with premix. Source: own study based on the results of research No.: DOBR-BIO8 / 09/01/2016, entitled: "Designing decompression for MCM / EOD II dives".

Metody płukania $premiksem$ przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego $SCR\ CRABE$. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016, pt.: „Projektowanie dekompresji dla nurkowań $MCM/EOD\ II$".

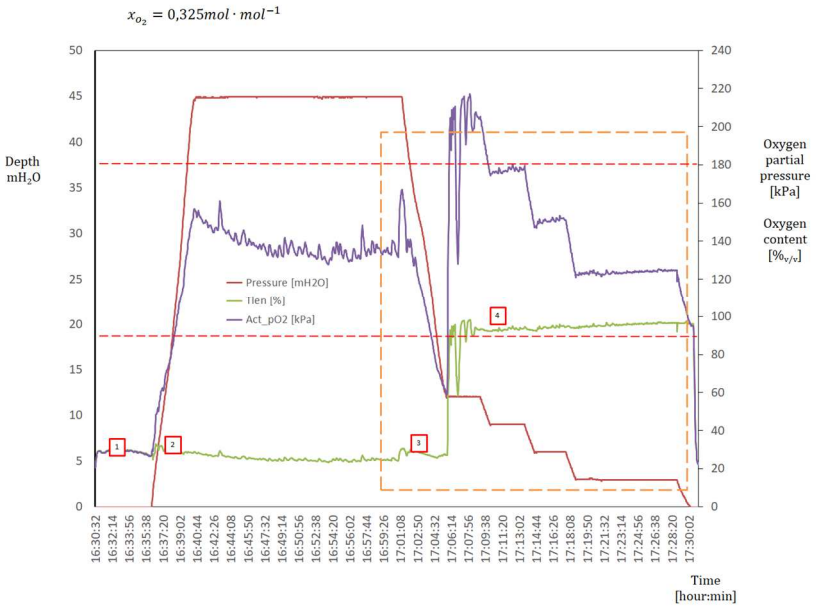
Nr	Stages of flushing the diving apparatus	Diving No 2 Diver ECHO Date:26.10.2017	Diving No 8 Diver DELTA Date:08.11.2017	Diving No 35 Diver CHARLIE 2 Date:24.03.2018	Diving No 38 Diver CHARLIE Date:04.04.2018	Diving No 70 Diver ALFA Date:10.09.2018	Diving No 71 Diver BRAVO Date:12.09.2018
1	*Breathing from apparatus Nx before diving*	*10min*	*10min*	*5min*	*5min*	*3min*	*3min*
2	*Exhausts from the moment the compression starts - rinsing Nx*	*5*	*5*	*3*	*3*	*3*	*3*
3	*Exhaust when exceeded 5m H_2O - rinsing Nx*	----------	----------	*5*	*3*	----------	----------
4	*Exhaust when exceeded 10m H_2O - rinsing Nx*	----------	----------	----------	----------	*3*	*3*
5	*The last minute bottom time - rinsing Nx*	*1 rinsing (1 · 3)*	*1 rinsing (1 · 3)*	*1 rinsing (1 · 3)*	*1 rinsing (1 · 3)*	*1 rinsing*	*1 rinsing*
	Rinsing of O_2, h=15 ÷ 12 mH_2O.						
6	*Apparatus rinsing O_2 at the time of reaching 12 mH_2O.*	*3 rinsing (3 · 3)*					
7	*Apparatus rinsing O_2 at the time of transition 15 ÷ 12 mH_2O.*		*3 rinsing (3 · 3)*	*3 rinsing (3 · 3)*			
8	*Apparatus rinsing O_2 from 15 mH_2O- last minute of the stop*				*3 rinsing (3 · 3)*	*3 rinsing (3 · 3)*	*4 rinsing (4 · 3)*

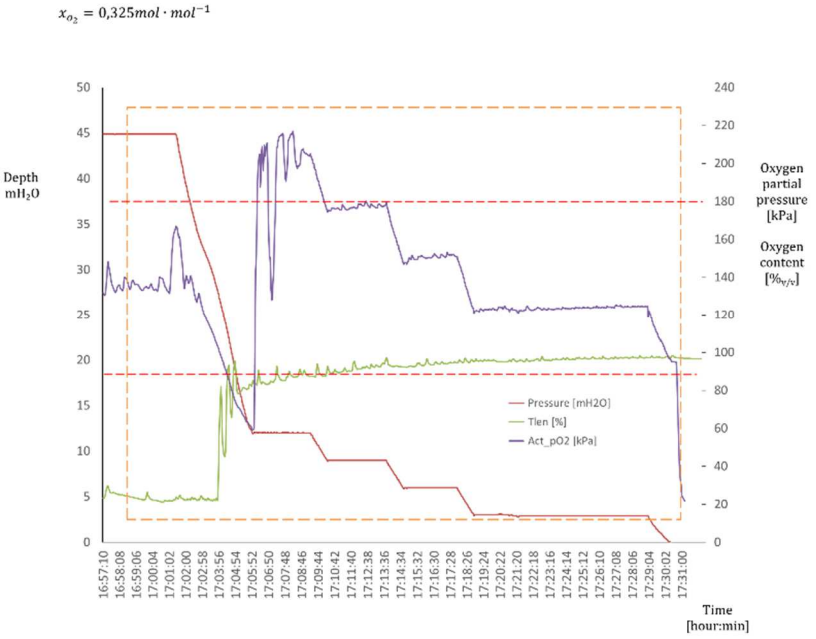
W trakcie implementacji zmian obserwowano i analizowano otrzymane rozkłady danych pomiarowych zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu. Rozkład zmian zawartości stężenia procentowego tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu, ciśnienia parcjalnego tlenu oraz głębokości nurkowania dla nurka $ECHO$ i Nx 0,325[26] przedstawiono na rys. 4.

During the implementation of the changes, the obtained distributions of data measuring oxygen content in the breathing loop of the apparatus were observed and analysed. The distribution of changes in percentage oxygen concentration in the breathing loop of the apparatus, oxygen partial pressure and diving depth for the diver $ECHO$, and Nx 0.325[26] were presented in Fig. 4.

Naniesione punkty charakterystyczne $1 - 4^{27}$ wskazują na kluczowe elementy procesu przepłukania aparatu $premiksem$ i tlenem w trakcie nurkowania.

The marked feature points $1 - 4^{27}$ indicate the key elements of the apparatus flushing process with premix and oxygen during the dive.



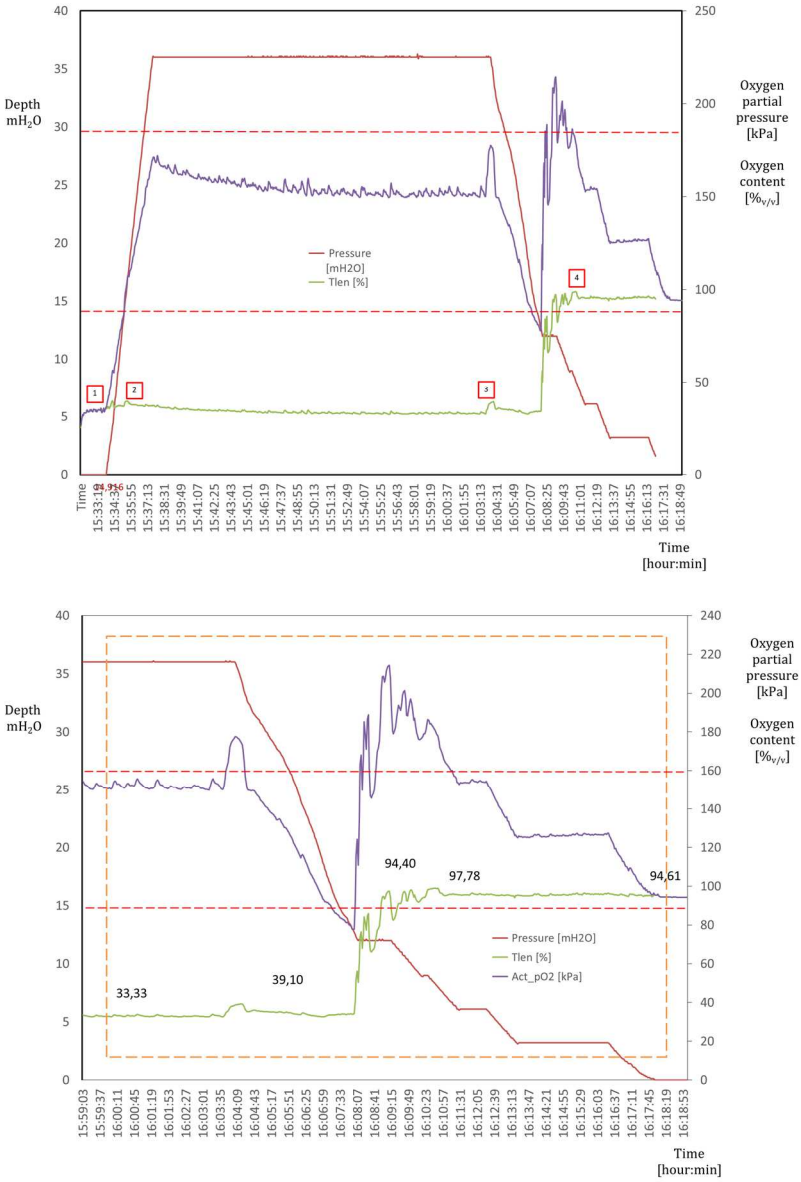


Figures 4 and 5. Total and fragmentary distribution of breathing gas composition parameters in the breathing bag of the $Nx - SCR\ CRABE$ apparatus during a stay at the bottom and decompression for the Echo diver, dive no. 2 dated 26.10.2017, nitrox $x_{o_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$, breathing loop flushing during oxygen decompression phase $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$. Profile 45m/25 min, stay at the bottom 25 minutes, diving time 54 minutes. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 4 i 5. Całościowy i fragmentaryczny rozkład parametrów składu czynnika oddechowego w worku oddechowym aparatu $Nx - SCR\ CRABE$ w czasie pobytu na dnie oraz dekompresji dla nurka Echo nurkowanie nr 2 z dnia 26.10.2017roku, nitroks $x_{o_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$, płukanie przestrzeni oddechowej w fazie dekompresji tlen $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$. Profil 45m/25 min, pobyt na dnie 25 minut, czas nurkowania 54 minut. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Do dalszej analizy przyjęto zakres danych wyznaczony przez granicę ostatniego płukania przed rozpoczęciem wynurzania $pkt.3$ rys. 4. Otrzymany fragmentaryczny rozkład dla nurkowania nr 2 (tab. 4) i procedury 3 krotnego powtórzenia procedury przepłukania tlenem przedstawiono na rys. 5.

For further analysis, the range of data determined by the last flushing limit before commencing the final ascent was adopted - Item 3. Fig. 4. The obtained fragmentary distribution for dive no. 2 (Tab. 4) and the procedure of repeating the oxygen flushing procedure 3 times is shown in (Fig. 5).



Figures 6 and 7. Total and fragmentary distribution of breathing gas composition parameters in the breathing bag of the $Nx - SCR\ CRABE$ apparatus during a stay at the bottom and decompression for the Bravo diver, dive no. 71 dated 12.09.2018, nitrox $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$, breathing loop flushing during oxygen decompression phase $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$. Profile 36m/30 min, stay at the bottom 30 minutes, diving time 44 minutes. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 6 i 7 Całościowy i fragmentaryczny rozkład parametrów składu czynnika oddechowego w worku oddechowym aparatu $Nx - SCR\ CRABE$ w czasie pobytu na dnie oraz dekompresji dla nurka Bravo nurkowanie nr 71 z dnia 12.09.2018roku, nitroks $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$, płukanie przestrzeni oddechowej w fazie dekompresji tlen $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$. Profil nurkowania 36m/30 min, pobyt na dnie 30 minut, czas nurkowania 44 minuty. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Na rys. 6. przedstawiono analogiczny rozkład dla modyfikacji procesu przepłukania dla nurkowania nr 71 (tab. 4) i *premiksu* Nx 0,4[28]. Zasadnicze różnice przedstawianych obserwacji są związane z zastosowaniem różnych procedur płukania i składu pierwotnego *premiksu* w przestrzeni oddechowej aparatu przed wykonaniem procedury. Z uzyskanego rozkładu danych wyodrębniono do analizy zakres danych pomiarowych przedstawiony na rys. 7. Dane pomiarowe odzwierciedlają przebieg procesu dla 4-krotnego powtórzenia procedury przepłukania. W każdym przypadku płukanie tlenem przestrzeni oddechowej aparatu podniosło jego zawartość do poziomu $\geq [90]\% v\ O_2$.

Dokonanie modyfikacji procedury spowodowało zmianę charakterystyki przyrostu zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu. W obu przypadkach różnią się one zarówno czasem przyrostu stężenia tlenu do wartości $\geq [90]\% O_2$ jak również wartością stabilnej zawartości tlenu w fazie dekompresji tlenowej. Zmiany koncentracji tlenu w poszczególnych etapach procesu przepłukania oznaczono na wykresie. Największa zaobserwowana po zakończeniu procesu płukania tlenem wartość stężenia tlenu wyniosła $C_{O_2} = 97{,}78\% v$ w fazie dekompresji następuje sukcesywny spadek tej zawartości do wartości minimalnej $C_{O_2} = 94{,}61\% v > C_{O_2} min = 90\% v$. Rozkłady zmian zawartości tlenu dla 4 procedur płukania i mieszaniny $Nx\,32{,}5\% O_2$ w trakcie poszczególnych nurkowań eksperymentalnych przedstawiono na rys. 8.

Na rysunku oznaczono granicę specyfikacji $C_{O_2} min \geq 90\% v O_2$ wynikającą z założeń krytycznych dla rozkładu dekompresji. Linią pionową ograniczono obszar poddany dalszej analizie w zakresie stabilnej zawartości tlenu pod kątem identyfikacji zachodzących zmian procesowych. Przyjęto, że dokonane obserwacje należy traktować jako badania wstępne[29], które stanowią podstawę do dalszego wnioskowania. Różnice w rozkładach ujawniają się we wstępnej fazie stabilizacji zawartości czynnika oddechowego po wykonaniu przepłukania tlenem. Choć wartość stabilna zawartości tlenu jest zbliżona w końcowej fazie dekompresji tlenowej, to prędkość przyrostu koncentracji tlenu jest różna.

Fig. 6 shows an analogous distribution for flushing process modifications for dive no. 71 (Tab. 4) and premix Nx 0,4[28]. The main differences of the presented observations are related to the application of different flushing procedures and the composition of the primary premix in the breathing loop of the apparatus before the procedure is performed. From the obtained data distribution, the range of measurement data presented in Fig. 7 was singled out for analysis. The measurement data reflect the course of the process for the flushing procedure repeated 4 times.

In each case the oxygen flushing of the breathing loop of the apparatus increased its content to the level of $\geq [90]\% v\ O_2$. The modification of the procedure resulted in an increase of the oxygen content in the breathing loop of the apparatus. In both cases, the time taken to increase the oxygen concentration to a value $\geq [90]\% O_2$ differs, as does the value of the stable oxygen content during the oxygen decompression phase. Changes in oxygen concentration in each stage of the flushing process are marked on the chart. The highest value of oxygen concentration observed after the completion of the oxygen flushing process was $C_{O_2} = 97{,}78\% v$ in the decompression phase this value gradually decreases to the minimum value $C_{O_2} = 94{,}61\% v > C_{O_2} min = 90\% v$. The distribution of oxygen content changes for 4 flushing procedures and the $Nx\,32{,}5\% O_2$ mixture during each experimental dive is shown in Fig. 8.

The figure shows the specification limit $C_{O_2} min \geq 90\% v O_2$ resulting from critical assumptions for the decompression schedule. The vertical line limits the area subjected to further analysis in terms of stable oxygen content in order to identify the process changes taking place. It was assumed that the observations made should be treated as preliminary studies[29], which are the basis for further conclusions. Differences in decomposition are revealed in the initial phase of stabilisation of the breathing gas content after oxygen flushing. Although the stable oxygen content is similar in the final phase of oxygen decompression, the rate of increase in oxygen concentration varies.

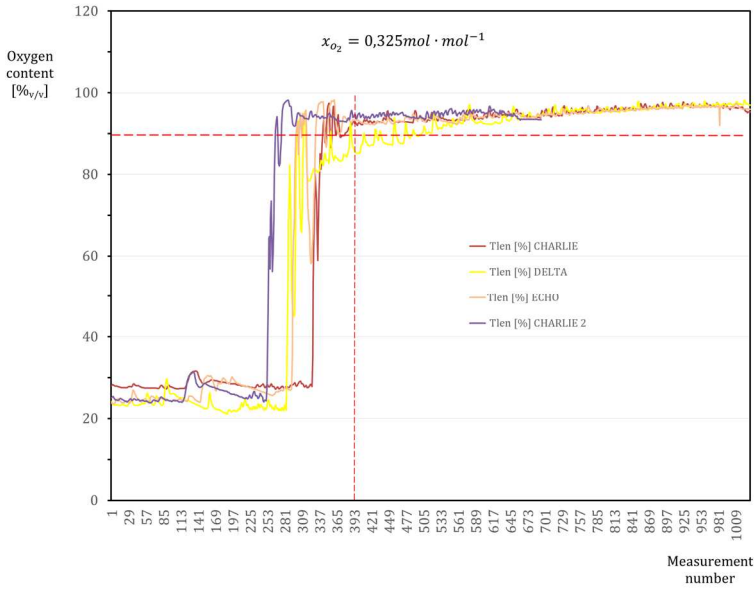


Fig. 8 The parameters of breathing gas composition in the breathing bag of the $Nx - SCR\ CRABE$ apparatus for $n = 4$ nitrox divings $x_{o_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$ during the flushing of the breathing loop in the oxygen decompression phase $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$ before and after the modification of the flushing procedure. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 8 Parametry składu czynnika oddechowego w worku oddechowym aparatu $Nx - SCR\ CRABE$ dla $n = 4$ nurkowań dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$ w czasie płukania przestrzeni oddechowej w fazie dekompresji z użyciem tlenu $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$ przed i po modyfikacji procedury płukania. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Na rys. 9 naniesiono rozkład zmian zawartości tlenu dla 2 zmodyfikowanych procedur płukania nurków $Alfa$ i $Bravo$ dla Nx 0,4. Obserwacje wskazują na występujące różnice przed i po zmianie procedury płukania. W przypadku nurka $Bravo$ otrzymany rozkład danych pomiarowych wskazuje na uzyskanie wyższej stabilnej zawartość tlenu w worku oddechowym.

Fig. 9 shows the distribution of oxygen content changes for 2 modified flushing procedures for divers $Alfa$ and $Bravo$ for Nx 0,4. The observations indicate the differences occurring before and after the change in the flushing procedure. In the case of diver $Bravo$, the resulting distribution of measurement data indicates a higher stable oxygen content in the breathing bag.

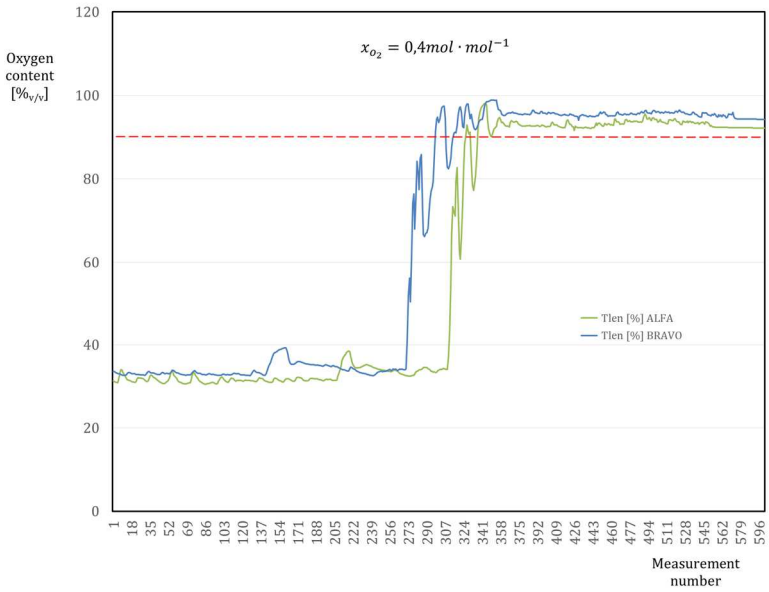


Fig. 9 The parameters of breathing gas composition in the breathing bag of the $Nx - SCR\ CRABE$ apparatus for $n = 2$ nitrox divings $x_{o_2} = 0{,}4 mol \cdot mol^{-1}$ during the flushing of the breathing loop in the oxygen decompression phase $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$ before and after the modification of the flushing procedure. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 9 Parametry składu czynnika oddechowego w worku oddechowym aparatu $Nx - SCC\ CRABE$ dla n=2 nurkowań dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}4 mol \cdot mol^{-1}$, w czasie płukania przestrzeni oddechowej w fazie dekompresji z użyciem tlenu $x_{o_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$, przed i po modyfikacji procedury płukania. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rozkłady dla poszczególnych modyfikacji procedury płukania przedstawiono na rys. 10. Rozkłady posiadają różny kształt a w niektórych przypadkach można zidentyfikować szereg pomiarów odstających[30]. Większość z nich wykazuje znaczną asymetrię za wyjątkiem rozkładu $Bravo$.

The distributions for each modification of the flushing procedure are shown in Fig. 10. The distributions have different shapes and in some cases a number of outliers[30] can be identified. Most of them show significant asymmetry except for the $Bravo$ distribution.

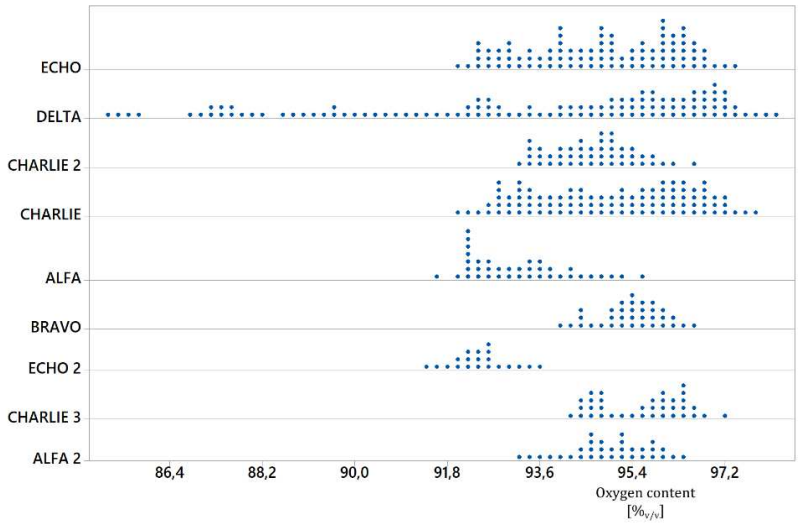


Fig. 10 The point chart of the distribution of measurement data of stable oxygen content in the breathing bag after the completion of the flushing of the breathing loop during the oxygen decompression phase $x_{O_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$ for nitrox $x_{O_2} = 0{,}4 mol \cdot mol^{-1}$ and $x_{O_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys.10 Diagram punktowy rozkładu danych pomiarowych stabilnej zawartości tlenu w worku oddechowym po zakończeniu płukania przestrzeni oddechowej w fazie dekompresji tlenem $x_{O_2} = 1{,}0 mol \cdot mol^{-1}$ dla nitroksu $x_{O_2} = 0{,}4 mol \cdot mol^{-1}$ oraz $x_{O_2} = 0{,}325 mol \cdot mol^{-1}$. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Na rys. 11. naniesiono zmiany położenia wartości średniej $\bar{x}$ poszczególnych rozkładów stabilnej zawartości tlenu po zakończonym procesie przepłukania aparatu. Obserwacje pozwalają na poszukiwanie przyczyn deterministycznych występujących różnic w kontekście modyfikacji zmiennych wejściowych i parametrów procesu. Uzyskane rozkłady empiryczne potwierdzają, że najlepsze właściwości reprezentuje rozkład $Bravo$. Potwierdza to wstępnie uzyskanie oczekiwanego kierunku zmian. Prowadząc wnioskowanie należy zwrócić uwagę na porównanie ich dla tego samego rodzaju mieszaniny $premiksowej$, gdyż naturalnym jest korzystne przesunięcie wartości średnich zawartości tlenu $\bar{x}_{O_2}$ w fazie dekompresji w przypadku $premiksu$ o większym udziale tlenu. W takim przypadku zawartość stabilna tlenu przed rozpoczęciem płukania przestrzeni oddechowej aparatu w czasie pobytu na dnie jest wyższa – zatem i proces płukania jest bardziej efektywny.

Fig. 11. Shows the changes in the position of the mean value $\bar{x}$ of each distribution of stable oxygen content after the end of the process of flushing the apparatus. The observations enable the search for deterministic causes of the differences in the context of modifying the input variables and process parameters. The obtained empirical distributions confirm that the best properties are represented by the $Bravo$ distribution. This initially confirms the expected direction of changes. While drawing conclusions, attention should be paid to comparing them for the same type of premix mixture, as it is natural that it is beneficial to shift the mean values of oxygen content $\bar{x}_{O_2}$ during the decompression phase with a premix with higher oxygen content. In this case, the stable oxygen content before starting to flush the breathing loop of the apparatus during a stay at the bottom is higher – and therefore the flushing process is more efficient.

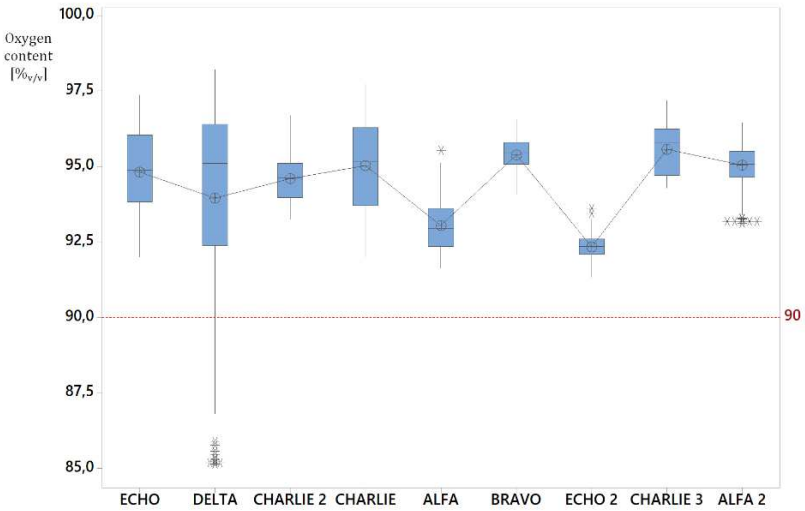


Fig. 11 The distribution of $\bar{x}$ measurement values, lower and upper quartile, the range of variation of measurements and outliers of stable O_2 content in the breathing bag after the completion of flushing the breathing loop of the apparatus with oxygen $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ for nitrox $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$ and $x_{o_2} = 0{,}325mol \cdot mol^{-1}$. Distribution of $\mathrm{n} = 6$ oxygen flushing procedures of the apparatus at the decompression depth from $h = 12 - 15\ mH_20$. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 11 Rozkład wartości $\bar{x}$ pomiarów, dolny i górny kwartyl, zakres zmienności pomiarów i punkty odstające stabilnej zawartości O_2 w worku oddechowym po zakończeniu przepłukania przestrzeni oddechowej aparatu tlenem $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$ oraz $x_{o_2} = 0{,}325mol \cdot mol^{-1}$. Rozkład $\mathrm{n} = 6$ procedur płukania aparatu tlenem na głębokości dekompresji od $h = 12 - 15\ mH_20$. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Dla porównania charakteru zachodzących zmian, na rys. 12 przedstawiono histogram pomiarów O_2w worku oddechowym $SCR\ CRABE$ dla dwóch nurkowań tego samego nurka oznaczonych jako $Alfa$ i $Alfa$ 2 (adekwatnie: przed i po modyfikacji) procedury płukania aparatu nurkowego. Wykazano, że wartość średnia procesu $\bar{x}_{O_2}$ uległa korzystnemu i istotnemu przesunięciu w kierunku wyższych wartości stężeń tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu dla przyjętego $(1 - \alpha = 0{,}95)$ i liczby stopni swobody $n > 100$. Odchylenie standardowe analizowanych rozkładów porównawczych nie zostało w sposób istotny zredukowane. Rozkład zmienności procesu w obu przypadkach znajduje się w ustalonych granicach tolerancji.

Rozkład przed modyfikacją jest bardziej przesunięty w kierunku dolnej granicy tolerancji LCL[31] = $90\%_v O_2$. Takie zachowanie nie jest sprzyjające dla przyjętych wcześniej założeń dekompresyjnych, gdyż możliwość obniżenia oczekiwanej stabilnej zawartości tlenu w kierunku zbliżonym do dolnej granicy, może wywołać negatywny wpływ na skuteczności prowadzonej dekompresji. Z rozkładu po modyfikacji wynika, że istnieje potencjalna możliwość osiągnięcia wyższej zdolności procesu po identyfikacji czynników deterministycznych wpływających na jego przesunięcie oraz niestabilność[32] Redukcja zmienności i rozproszenia jest istotna z punktu widzenia zdolności procesowej, a zatem i jego utrzymania w pobliżu oczekiwanych wartości nominalnej[33] w kontrolowanych granicach. Z przedstawionych rozkładów rys. 9 należy wnioskować, że modyfikacja procedury polegająca na wprowadzeniu 4-krotnego płukania tlenem aparatu powoduje istotne zmiany w zachowaniu procesu przepłukania aparatu wykonanego przez tego samego nurka z użyciem takiej samej mieszaniny $premiksowej$.

Po identyfikacji i wyeliminowaniu występujących przyczyn deterministycznych zakłócających rozpatrywany proces istnieje możliwość dalszej poprawy jego zdolności.

To compare the nature of the changes taking place, Fig. 12 shows the histogram of O_2 measurements in the $SCR\ CRABE$ breathing bag for two dives of the same diver marked as $Alfa$ and $Alfa$ 2 (respectively: before and after the modification of the diving apparatus flushing procedure.) It was shown that the average value of the $\bar{x}_{O_2}$ process was favourably and significantly shifted towards higher values of oxygen concentrations in the breathing loop of the apparatus for the assumed $(1 - \alpha = 0{,}95)$ and the number of degrees of freedom $n > 100$. The standard deviation of the analysed comparative distributions has not been significantly reduced. The distribution of process variability in both cases is within the established tolerance limits.

The distribution before the modification is more shifted towards the lower tolerance LCL[31] = $90\%_v O_2$. Such behaviour is not favourable to the previously adopted decompression assumptions, because the possibility of lowering the expected stable oxygen content towards the lower limit may have a negative impact on the effectiveness of the conducted decompression. The distribution after the modification shows that there is a potential to achieve higher process capacity after the identification of deterministic factors that influence its shift and instability[32]. Reduction of variability and dispersion is important from the point of view of process capability, and therefore keeping it close to its expected nominal value[33] within controlled limits. From the presented distributions of Fig. 9 it should be concluded that the modification of the procedure that consists in the introduction of a 4-fold oxygen flushing procedure in the apparatus causes significant changes in the process of flushing the apparatus made by the same diver with the same premix mixture.

After the identification and elimination of the occurring deterministic causes interfering with the process under consideration, there is a possibility of further improvement of its capacity. The possibility of

Możliwość poprawy uwidacznia różnica pomiędzy zmiennością potencjalną i obserwowaną[34] rys. 12.

improvement is shown by the difference between the potential and observed variability[34] Fig. 12.

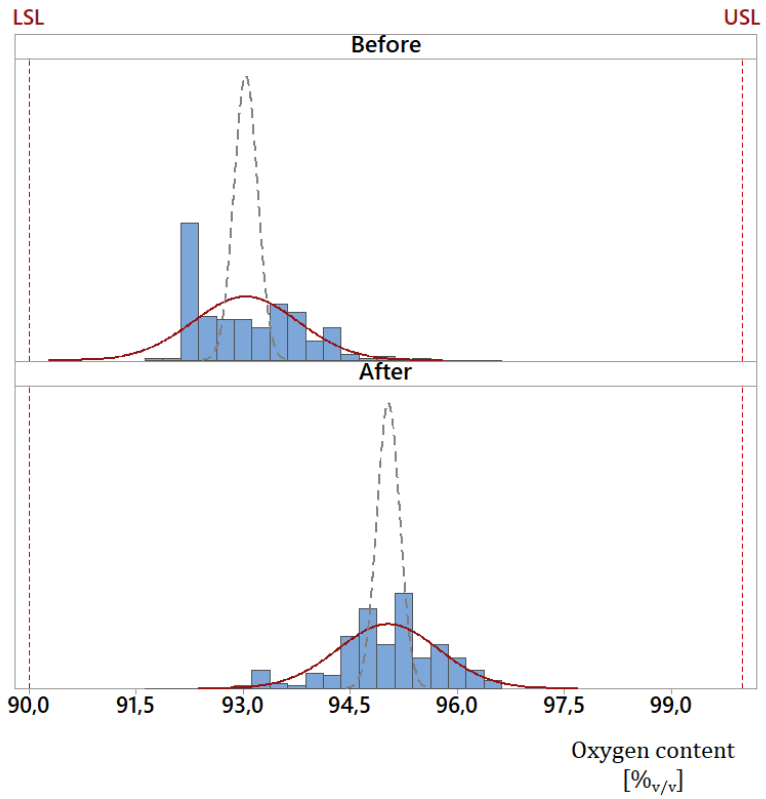


Fig. 12 The empirical distribution of O_2 measurements in the breathing bag against the limits of process tolerance ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ \ n = 25,\ GGT = 100\%_{v/v}$) after the completion of oxygen flushing of the breathing loop $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ for nitrox $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$ before and after introducing changes in the process of flushing the diving apparatus. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 12 Rozkład empiryczny pomiarów O_2 w worku oddechowym względem granic tolerancji procesu ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ \ n = 25,\ \ GGT = 100\%_{v/v}$) po zakończeniu płukania przestrzeni oddechowej tlenem $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$ przed i po wprowadzeniu zmian procesu przepłukania aparatu nurkowego. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Na rys. 13 przedstawiono histogram danych pomiarowych zawartości tlenu w $SCR\ CRABE$ dla nurków $Alfa$[35] i $Bravo$. Rozkład wskazuje na możliwość utrzymania stabilnego rozkładu zawartości tlenu w zdefiniowanych granicach tolerancji, a zatem uzyskania lepszej odpowiedzi analizowanego procesu po modyfikacji danego parametru[36]. Uzyskany rozkład zmienności posiada najwyższą $\bar{x}_{O_2}$ po wykonaniu procedury płukania przestrzeni oddechowej tlenem. Zmiany przebiegu są zbliżone do rozkładów przedstawionych na rys. 12.

W obu przypadkach wykazano istotne różnice zdolności[37] analizowanego procesu. Jak wiadomo. na każdy proces wpływają różne czynniki zależne i niezależne, które mogą zakłócać jego przebieg gdy mają one charakter wyłącznie losowy można stwierdzić, że proces jest stabilny i pod kontrolą. Pomimo uzyskania poprawy[38] nie można stwierdzić, aby zidentyfikowano wszystkie przyczyny deterministyczne zakłócające jego przebieg. Uzyskane dane stanowią jedynie podstawę do dalszych badań i muszą zostać potwierdzone. Wnioskowanie deterministyczne prowadzono na podstawie badań empirycznych, gdyż na nie ma wystarczających podstaw[39] do wnioskowania statystycznego.

Fig. 13 Shows the histogram of oxygen content measurement data in $SCR\ CRABE$ for divers $Alfa$[35] and $Bravo$. The graph indicates that it is possible to maintain a stable distribution of oxygen content within the defined tolerance limits, and thus to obtain a better response of the analysed process after modifying a given parameter[36]. The obtained distribution of variability has the highest $\bar{x}_{O_2}$ after the procedure of oxygen flushing in the breathing loop. The changes in the course are similar to those shown in Fig. 12.

In both cases, significant differences in the capacity[37] of the process under analysis were demonstrated. As we know, each process is affected by various dependent and independent factors, which may interfere with its course, when they are only random, it can be concluded that the process is stable and under control. Despite the obtained improvement[38], it cannot be stated that all deterministic causes interfering with the process have been identified. The data obtained are only the basis for further research and must be confirmed. Deterministic conclusions were made on the basis of empirical studies, as there are not sufficient grounds[39] for statistical conclusions.

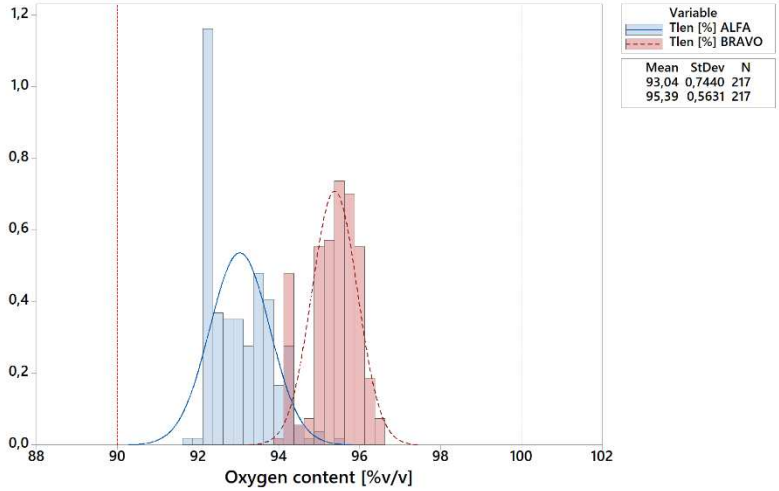


Fig. 13 Histogram of empirical distribution of O_2 measurements in the breathing bag with tolerance limits ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ n = 25,\ GGT = 100\%_{v/v}$) after the completion of the flushing of the breathing loop with oxygen $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ for nitrox $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 13 Histogram rozkładu empirycznego pomiarów O_2 w worku oddechowym z granicami tolerancji ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ n = 25,\ GGT = 100\%_{v/v}$) po zakończeniu płukania przestrzeni oddechowej tlenem $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}4mol \cdot mol^{-1}$. Wariant VI płukania. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

W celu obserwacji zachodzących zmian wynikających z wprowadzenia modyfikacji parametru p −procedury przepłukania tab. 4, uzyskane wybrane rozkłady zmienności ujawniające istotne różnice na etapach pośrednich implementacji zmian procesowych naniesiono na rys. 14. Rozkłady uwidaczniają zmianę ich charakteru w zakresie położenia wartości średniej zawartości tlenu $\bar{x}_{O_2}$ oraz odchylenia standardowego próby względem wyznaczonych granic procesu.

In order to observe the changes resulting from the modification of the p −parameter of the flushing procedure Tab. 4, the selected distributions of variations that reveal significant differences at intermediate stages of the implementation of process changes are shown in Fig. 14. The distributions show the change in their nature in terms of the position of the average oxygen content $\bar{x}_{O_2}$ and the standard deviation of the sample in relation to the determined process limits.

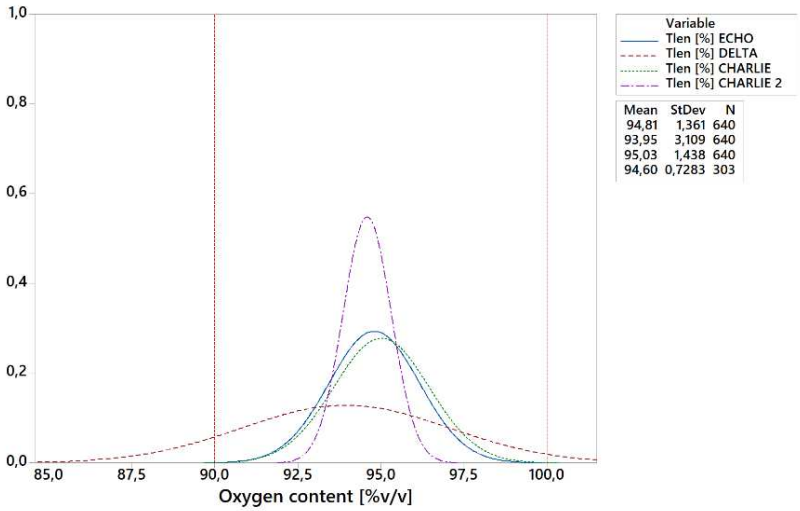
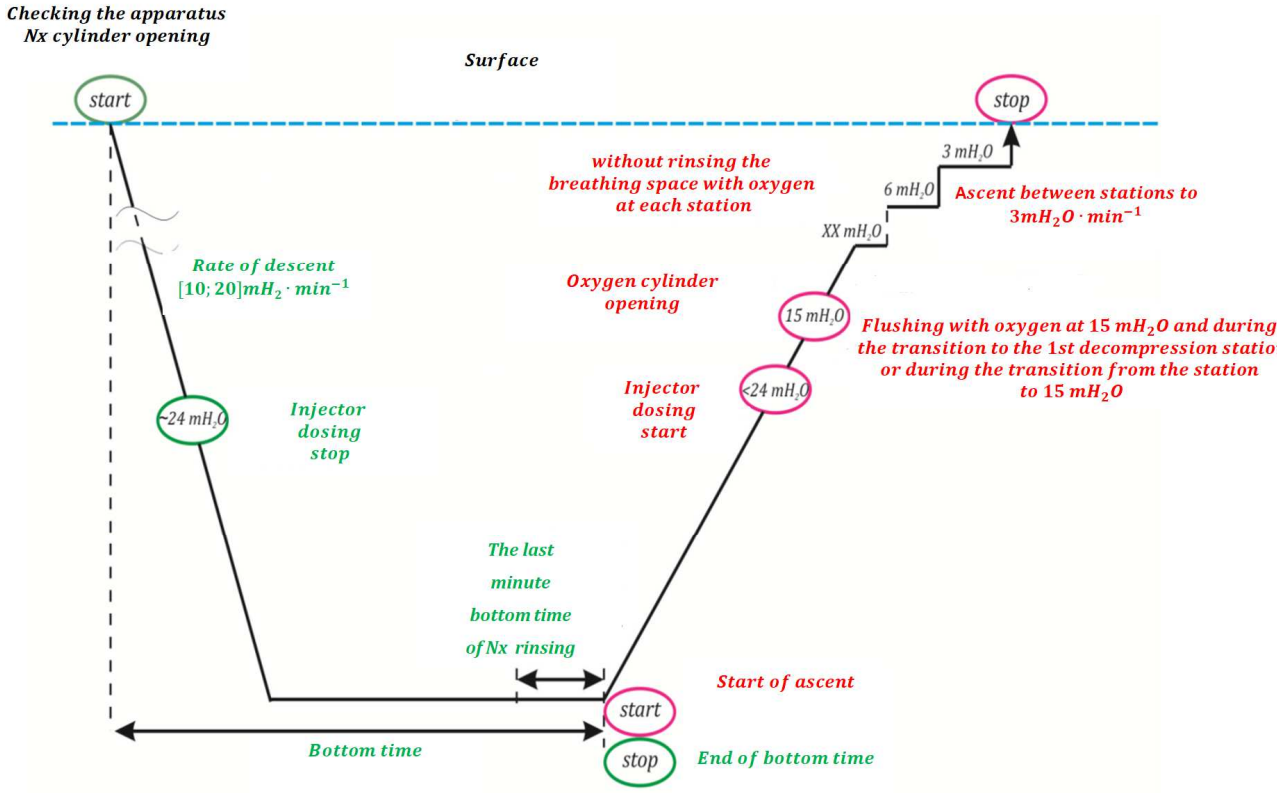


Fig. 14 Empirical distribution of O_2 measurements in the breathing bag with tolerance limits ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ n = 25,\ GGT = 100\%_{v/v}$) after the completion of flushing the breathing loop with oxygen $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$ for nitrox $x_{o_2} = 0{,}325mol \cdot mol^{-1}$. Flushing variant I − V Tab. 4. Source: own work based on the results of research no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 14 Rozkład empiryczny pomiarów O_2 w worku oddechowym z granicami tolerancji ($DGT\ x_{o_2} = 90\%_{v/v}\ n = 25,\ GGT = 100\%_{v/v}$) po zakończeniu płukania przestrzeni oddechowej tlenem $x_{o_2} = 1{,}0mol \cdot mol^{-1}$dla nitroksu $x_{o_2} = 0{,}325mol \cdot mol^{-1}$. Wariant I − V płukania tab. 4. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.



Rys. 15 Modified flushing process for the premix nitrox mixture, the principle of supplying and ventilation of SCR CRABE breathing loop. Source: research results no: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 15 Zmodyfikowany proces płukania dla $premiksowej$ mieszaniny nitroksowej, zasada zasilania i wentylacji przestrzeni oddechowej SCR CRABE. Źródło: wyniki badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

W konsekwencji do dalszych badań zaproponowano przedstawiony na rys. 15 zmieniony algorytm postępowania dla procedury przepłukania $SCR\ Crabe$ tlenem zgodny z rozkładem $Bravo$. W wyniku ewaluacji procesu w trakcie realizacji zadania projektowego dokonano znacznych modyfikacji procedur wynikających zarówno z prowadzonego wnioskowania jak i potrzeb operacyjnych prowadzenia podwodnych działań minerskich[40].

Na podstawie otrzymanych rozkładów można stwierdzić, że istnieje możliwość osiągnięcia wyższej niż wartość krytyczna CTQ^{41} $C_{O_2}min = 90\%v$ dla stabilnej minimalnej zawartości tlenu w granicach $C_{O_2} \in [93{,}04 \div 95{,}39]\%v$. Wymaga to zgodnie z procedurą wykonania co najmniej $n = 9 \div 12$ płukań układu oddechowego aparatu. Potwierdzają to przedstawione na rys. 16 obliczone teoretyczne zawartości tlenu w worku oddechowym w funkcji $i - tego$ płukania tlenem. Wykres opracowano dla różnych stosunków objętości całkowitej do zalegającej w przestrzeni oddechowej aparatu V_Z/V_C.

As a consequence, a modified procedure algorithm for the procedure of flushing the $SCR\ Crabe$ with oxygen compliant with the $Bravo$ distribution is proposed for further research in Fig. 15. As a result of process evaluation in the course of implementing the project task, significant modifications were made to the procedures resulting from both the drawn conclusions and operational needs for underwater mine operations[40].

On the basis of the obtained distributions it can be concluded that it is possible to achieve a higher value than the critical value of CTQ^{41} $C_{O_2}min = 90\%v$ for a stable minimum oxygen content within the limits of $C_{O_2} \in [93{,}04 \div 95{,}39]\%v$. In accordance with the procedure, this requires that the flushing of the breathing apparatus is performed at least $n = 9 \div 12$ times. This is confirmed by the calculated theoretical oxygen content in the breathing bag in the function of *i-fold* oxygen flushing as shown in Fig. 16.

The diagram has been prepared for different ratios of total volume to residual volume in the breathing loop of the apparatus V_Z/V_C.

$$x_j \in [93{,}04 \div 95{,}39]\%O_2 \; dla \; j \in [9 \div 12], \;\; V_z = V_C \cdot 0{,}7$$

$$x_j = x_w + (x_0 - x_w) \cdot (\frac{V_z}{V_c})^j$$

$$V_C = 5{,}3dm^{-3}$$

$$x_w = 1{,}0 \; mol \cdot mol^{-1}$$

$$x_0 = 0{,}325 \; mol \cdot mol^{-1}$$

$$V_{Z1} = 0{,}25 \cdot V_C$$

$$V_{Z2} = 0{,}3 \cdot V_C$$

$$V_{Z3} = 0{,}5 \cdot V_C$$

$$V_{Z4} = 0{,}7 \cdot V_C$$

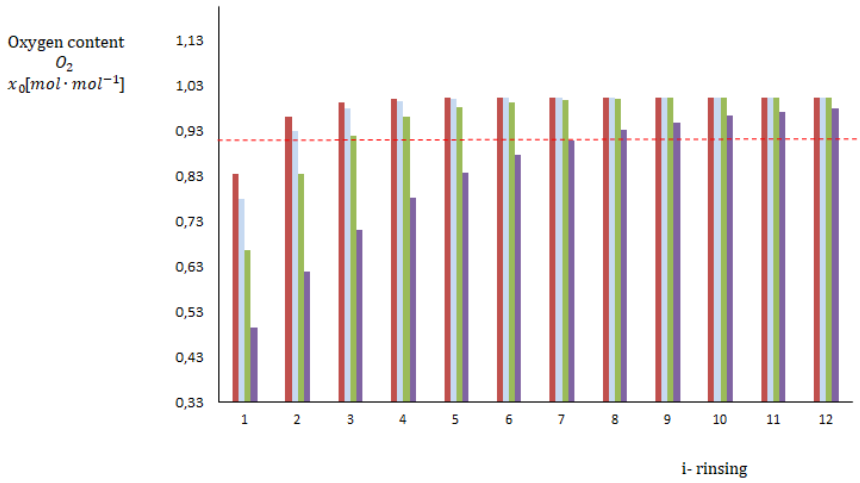


Fig. 16 The composition of the breathing gas x_j in the breathing bag of the $Nx - SCR\ CRABE$ apparatus as a function of *i-fold* flushing of the breathing loop with oxygen for different V_Z/V_C. Source: own study based on research results No: DOBR-BIO8/09/01/2016.

Rys. 16 Skład czynnika oddechowego x_j w worku oddechowym aparatu $Nx - SCR\ CRABE$ w funkcji $i - tego$ płukania przestrzeni oddechowej tlenem dla różnych V_Z/V_C. Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań Nr: DOBR-BIO8/09/01/2016.

WNIOSKI

Kierunki dalszych badań to kontynuacja wykonywania pomiarów procesu płukania aparatu i utrzymywania stabilnej zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej $SCR\ CRABE$. Weryfikacją trwałego charakteru zmian dla zmodyfikowanego procesu płukania tlenem $SCR\ CRABE$ należy prowadzić w oparciu o uzyskane wyniki badań eksperymentalnych $x_j \geq x_j min \in [93{,}04 \div 95{,}39]\%v$ oraz dalszą eksplorację i analizę danych, ocenę zmienności i stabilności nadzorowanego procesu. Stabilna zawartość tlenu w przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego musi zapewniać podtrzymanie funkcji życiowych organizmu nurka w określonych warunkach nurkowania oraz spełniać krytyczne wymagania dla projektowanej dekompresji ze względu na minimalizację ryzyka związanego z zagrożeniem DCS. Dekompresję zaprojektowano dla $systemu\ II$[42] nurkowań nitroksowych wg NO-07-A010 redundantnie[43] uwzględniając nadmiarowość wynikająca z niedoszacowania minimalnej zawartości tlenu w przestrzeni oddechowej.

Mając na uwadze fakt, że opracowana technologia przeznaczona jest do wykonywania nurkowań punktowych, w warunkach uwzględniających wykonywanie wysiłku pod wodą należy rozważyć możliwość implementacji dodatkowych systemów zabezpieczających, zarówno w formie prostej, jak i w postaci systemów wyposażonych w systemy sensoryczne, ekspertowe[44] i aktuatory[45]. W układach oddechowych aparatów nurkowych implementacja takich rozwiązań spełnia rolę informacyjną w zakresie aktualnej koncentracji lub ciśnienia cząstkowego tlenu. Ma to istotne znaczenie z punktu widzenia zapobiegania hipoksji (niedotlenieniu) oraz zagrożeń wynikających z oddziaływania toksycznego tlenu na organizm nurka[46] w czasie pobytu na dnie i podczas dekompresji. Technologie nurkowania do zastosowań militarnych[47] akceptują większy poziom ryzyka wykonywania podwodnych działań[48], niż np. technologie przeznaczone

CONCLUSIONS

The directions of further research involve a continuation of performing measurements of the flushing process of the apparatus and maintaining a stable oxygen content in the breathing loop of the $SCR\ CRABE$. The verification of the permanent character of changes for the modified oxygen flushing process of the $SCR\ CRABE$ should be carried out on the basis of the obtained experimental results $x_j \geq x_j min \in [93{,}04 \div 95{,}39]\%v$ and further data exploration and analysis, evaluation of variability and the stability of the supervised process. A stable oxygen content in the breathing loop of the diving apparatus must ensure the maintenance of the vital functions of the diver's body under specific diving conditions and meet the critical requirements for the designed decompression due to the minimisation of risk related to the DCS threat. Decompression has been designed for $system\ II$[42] nitrox dives according to NO-07-A010 redundantly[43], taking into account the redundancy resulting from the underestimation of minimum oxygen content in the breathing loop.

Bearing in mind the fact that the developed technology is designed for site diving, in conditions that take into account the underwater effort, the possibility of implementing additional safety systems should be considered, both in a simple form and in the form of systems equipped with sensory, expert[44] and actuator[45] systems. In the breathing systems diving apparatuses, the implementation of such solutions serves as information on the current concentration or partial pressure of oxygen. It is important from the point of view of preventing hypoxia and risks resulting from the toxic effects of oxygen on the diver's body[46] during the stay at the bottom and during decompression. Diving technologies for military applications[47] accept a higher level of risk for underwater activities[48] than, e.g., technologies designed for civilian or recreational diving. Therefore, for operational reasons,

do nurkowań cywilnych lub rekreacyjnych. Zatem ze względów operacyjnych mogą one akceptować wyższe wartości maksymalne ciśnienia parcjalnego tlenu oraz dłuższe czasy ekspozycji.

Zastosowane w celu kontroli parametru systemy wskaźnikowe, mogą informować operatora poprzez sygnalizację ostrzegawczą o przekroczeniu ustalonej wartości progowej koncentracji tlenu na każdym etapie nurkowania. Monitoring procesu, z punktu widzenia możliwości minimalizacji jego zmienności, powinien być zorientowany na pomiar wartości procesowych, które na etapie nurkowania i dekompresji pozwalałyby na kontrolę efektywności przepłukania. Stosunkowo niewielkiego nakładu wymaga implementacja sensorycznych systemów analitycznych zorientowanych na parametry wyjściowe procesu. Istnieje możliwość prowadzenia monitoringu *online* przestrzeni oddechowej aparatu, poprzez dostępne wyspecjalizowane systemy pomiarowe. Ze względów bezpieczeństwa[49] wykonywania podwodnych działań minerskich należy to rozważyć szczególnie w czasie nurkowań na średnich i dużych głębokościach oraz przy długich czasach pobytu na dnie. Przed zastosowaniem ewentualne zabezpieczające systemy sensoryczne[50] powinny zostać poddane ocenie zdolności systemu pomiarowego[51] w zakresie oszacowania własności metrologicznych oraz stabilności względem wyznaczonych granic tolerancji procesu.

Publikując niniejszy materiał chciałbym serdecznie podziękować kierownikowi projektu Panu profesorowi AMW – dr hab. inż. Ryszardowi KŁOSOWI, za możliwość współpracy i uczestnictwa w realizacji niniejszego zadania projektowego. Pragnę równocześnie podziękować wszystkim współpracownikom z grupy realizującej badania a w szczególności – Panu dr med. Maciejowi KONARSKIEMU odpowiedzialnemu za realizacje nadzoru i zabezpieczenia medycznego projektu oraz kierownikowi nurkowań eksperymentalnych Panu mgr Romanowi SZYMAŃSKIEMU, których praca, zaangażowanie oraz profesjonalizm w wykonywaniu badań były inspiracją do napisania niniejszego artykułu.

they may accept higher maximum partial pressure of oxygen and longer exposure times. Indicator systems, used to control the parameter, may inform the operator by means of a warning signal when the set oxygen concentration threshold is exceeded at each dive stage.

Process monitoring, from the point of view of the ability to minimise its variability, should be focused on measuring process values that would allow the control of flushing efficiency at the dive and decompression stages. A relatively small amount of effort is required to implement sensory analytical systems focused on process output parameters. It is possible to conduct online monitoring of the breathing space of the apparatus through the available specialised measurement systems. For reasons of safety[49] of underwater mine operations, this should be considered, especially when diving at medium and deep depths. and with long dive times at the bottom. Prior to application, any protective sensory[50] systems should have their measurement systems assessed[51] with regard to estimating the metrological properties and their stability against the process tolerance limits.

By publishing this paper I would like to thank the project manager, Prof. Ryszard KŁOS, PhD, of the Polish Naval Academy for the possibility of cooperation and participation in this project.

At the same time, I would like to express my gratitude to all the collaborators from the research group and in particular to Mr. Maciej KONARSKI, MD, who was responsible for the medical supervision and protection of the project, as well as to the manager of experimental diving Mr. Roman SZYMAŃSKI, whose work, commitment and professionalism in performing the research were an inspiration for writing this article.

REFERENCES

1. Official Journal of Laws of the Ministry of National Defence no. 6 item 44. Decision No. 75/MON of the Minister of National Defence of 1 April 2005. Instruction on introducing weapons and military equipment into the Armed Forces of the Republic of Poland and withdrawing weapons and equipment that do not meet the requirements of the army. Warsaw: MON, 2005;
2. AMP-15. Standards for Naval Mine Warfare Acoustic Measurements - STANAG 1097 /1418/ 1431. Brussels: NSO, 2013;
3. AODP-07 EOD. Equipment requirements and equipment - STANAG 2897. Brussels: NSO, 2007;
4. Instruction No. 106. of the Head of the Inspectorate for Armed Forces Support of 17 November 2010 in the case of introducing the CRABE Mixed Diving Camera to the Polish Armed Forces. no place: IWSZ, 2010;
5. Kłos R.Konarski M.Szymański R. Woźniak A. Temporary guidelines for nitrox diving with the possibility of oxygen decompression for CRABE diving apparatus (INSTRUCTION ver. 4.11 - 12.05.2011). Gdynia: ZTPP AMW, 2011;
6. NO-07-A010. Diving for military purposes. Divingwith the use of nitrox Requirements. Warsaw: WCNJK, 2011;
7. R. Kłos. Decompression options for the CRABE diving apparatus. Gdynia: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, 2011. ISBN 978-83-924989-4-0;
8. Decompression options for the AMPHORA diving apparatus. Gdynia: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, 2012. ISBN 978-83-924989-8-8;
9. NO-07-A118. Diving for military purposes. Terminology and classification. Warsaw: WCNJK, 2015;
10. NO-07-A057:2003. Diving for military purposes - Mine destruction by mine divers in mine operations. Warsaw: WCNJK, 2003;
11. R Kłos. Trimix decompression system for CRABE diving apparatus: Gdynia: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, 2016. ISBN 978-83-938322-5-5;
12. Letter of intent between the Minister of National Defence of the Republic of Poland and the Minister of Defence of the French Republic concerning the strengthening of cooperation in the field of maritime operations. Warsaw: MON, 2013;
13. R. Kłos. Standard decompression.Temporary guidelines for Tx trimix decompression for CRABE diving apparatus. Gdynia: ZTPP AMW, 2018.

dr inż. Arkadiusz Woźniak
Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
ul. Śmidowicza 69
81-103 Gdynia
tel. 261262746
ar.wozniak@amw.gdynia.pl

[1] SCR – ang. semi - closed rebreather,
[1] SCR – semi - closed rebreather,

[2] brak części zamiennych, wysokie koszty dostaw, brak zestawu zasilania awaryjnego, technologia nurkowania i parametry $UiSW$ nie spełniające oczekiwań $SZRP$ po wejściu do $NATO$,
[2] owing to a shortage of spare parts, high delivery costs, absence of emergency power kits, diving technology and the parameters of UiSW (Military Equipment and Armaments) which do not meet the expectations of the SZRP after joining NATO,

[3] Instrukcja o wprowadzaniu do Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej uzbrojenia i sprzętu wojskowego oraz wycofywaniu uzbrojenia i sprzętu nieodpowiadającego wymaganiom wojska", Decyzja Nr 75/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 1 kwietnia 2005 r. (Dz. Urz. MON Nr 6, poz. 44 oraz z 2006 r. Nr 407, poz. 251),
[3] Instruction on introducing armaments and military equipment into the Armed Forces of the Republic of Poland and withdrawing armaments and equipment not meeting military requirements, Decision No 75/MON of the Minister of National Defence of 1 April 2005. (Journal of Laws of the Ministry of Defence No 6, item 44 and of 2006 No 407, item 251),

[4] Poleceniem Nr 106 Szefa Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych z dnia 17 listopada 2010 roku,
[4] Recommendation No. 106 of the Chief of the Armed Forces Support Inspectorate of 17 November 2010,

[5] AMP-15 Standards for Naval Mine Warfare Acoustic Measurements - STANAG 1097 /1418/ 1431,
[5] AMP-15 Standards for Naval Mine Warfare Acoustic Measurements - STANAG 1097 /1418/ 1431,

[6] AODP-07 EOD Equipment requirements and equipment - STANAG 2897,
[6] AODP-07 EOD Equipment requirements and equipment - STANAG 2897,

[7] analogicznie jak np. opracowane wcześniej dla aparatów: FGT I/D, OXY-NG, AMPHORA itp.,
[7] similar to those developed earlier for apparatuses: FGT I/D, OXY-NG, AMPHORA, etc.,

[8] ang. $mine\ countermeasure, MCM$ – obrony przeciwminowej,
[8] $mine\ countermeasure, MCM$,

[9] $ang. explosive\ ordnance\ disposal,$ EOD-niszczenie amunicji wybuchowej - wykrywanie, identyfikacja, ocena na miejscu, rozbrajanie, odzyskiwanie i niszczenie niewybuchów. Może również dotyczyć amunicji wybuchowej, która stała się niebezpieczna ze względu na uszkodzenie lub obniżenie jakości,
[9] $explosive\ ordinance\ disposal,$ EOD - detection, identification, on-site assessment, disarmament, recovery and destruction of munitions. It may also include explosive munitions that have become unsafe due to damage or deterioration,

[10] przepisy bezpieczeństwa wykonywania prac podwodnych w $SZRP$,
[10] regulations on the security of performance of underwater works in the Polish Armed Forces,

[11] Narodowe Centrum Badań i Rozwoju,
[11] National Centre for Research and Development,

[12] podwodne działania minerskie - czynności związane z poszukiwaniem, identyfikacją pod wodą wszelkich przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych w tym związane z przenoszeniem ich na powierzchnię lub niszczeniem za pomocą materiałów wybuchowych, a także rozbrajaniem, neutralizacją ich pod wodą lub na powierzchni w czasie nurkowania i prac podwodnych,
[12] underwater mine operations - activities related to the underwater search, identification of any explosive or hazardous items, including their transfer to the surface or destruction by means of explosives, as well as their dismantling, neutralisation underwater or on the surface during diving and underwater works,

[13] realizowany w latach:2012÷ 201,
[13] Implemented in years:2012÷ 2015,

[14] ang. $maximum\ operating\ depth,$ MOD= $60m\ H_2O$ - maksymalna głębokość operacyjna głębokość wyrażona w metrach słupa wody równoważna ciśnieniu maksymalnemu, dla którego system nurkowy został zaprojektowany,
[14] $maximum\ operating\ depth,$ MOD= $60m\ H_2O$ - maximum operational depth expressed in metres of water column equivalent to the maximum pressure for which the diving system is designed,

[15] wynikających z systemu I nurkowań nitroksowych opartego na wykorzystaniu EAD,
[15] resulting from the nitrox diving system I based on the use of EAD,

[16] kontekst rozumiany jest tutaj jako otoczenie systemowe, czyli nadsystem dla systemu wentylacji przestrzeni oddechowej aparatu nurkowego,
[16] context is understood here as the system environment, i.e. the supersystem for the breathing loop ventilation system of the diving apparatus,

[17] oprócz monitorowania innych istotnych parametrów przebiegu nurkowania,
[17] in addition to monitoring other relevant diving parameters,

[18] wynikających z przyjętych założeń dekompresyjnych,
[18] resulting from the adopted decompression assumptions,

[19] w tym przypadku tlenem,
[19] in this case – oxygen,

[20] CNS - $ang. Central\ Nervous\ System$,
[20] CNS - $Central\ Nervous\ System$,

[21] w tym przypadku mieszaniny nitroksowej,
[21] in this case the nitrox mix,

[22] w zakresie ilości wykonanych cykli i krotności wykonanych powtórzeń,
[22] in terms of the number of cycles and repetitions performed,

[23] dla rozkładu dekompresji,
[23] for the decompression schedule,

[24*]procedury płukania aparatu:
1. Procedury nurkowania z aparatem oddechowym Crabe AQUALUNG Nice 2010.
2. Technologia nurkowania Marynarki Francuskiej FN La Cellule Plongée Humaine et Intervention Sous la Mer (CEPHISMER).
3. Kłos R. Konarski M. 2011. Tymczasowe wytyczne do prowadzenia nurkowań nitroksowych z możliwością dekompresji tlenowej dla aparatu nurkowego CRABE (INSTUKCJA ver. 4.11 – 12.05.2011r.). Gdynia : ZTPP AMW, 2011.
4. Kłos R. 2011. Możliwości doboru dekompresji dla aparatu nurkowego typu CRABE. Gdynia 2011: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej: ISBN 978-83-924989-4-0.
5. Kłos R. System trimiksowej dekompresji dla aparatu nurkowego typu CRABE: Gdynia 2016: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej: ISBN 978-83-938322-5-5.

[24*]rebreather flushing procedures:
1. Crabe AQUALUNG Nice 2010 diving procedures.
2. Diving Technology of the French Navy La Cellule Plongée Humaine et Intervention Sous la Mer (CEPHISMER).
3. Kłos R. Konarski M. 2011. Temporary guidelines for nitrox diving with oxygen decompression possibility for CRABE rebreather (MANUAL ver. 4.11 – 12.05.2011). Gdynia : ZTPP AMW, 2011.
4. Kłos R. 2011. Decompression selection options for the CRABE rebreather. Gdynia 2011: Decompression selection options for the CRABE rebreather. Gdynia 2011: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society: ISBN 978-83-924989-4-0.
5. Kłos R. Trimix decompression system for the CRABE rebreather: Gdynia 2016: Decompression selection options for the CRABE rebreather. Gdynia 2011: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society: ISBN 978-83-938322-5-5.

[25] XBS - ang. External Breathing System,
[25] XBS - External Breathing System,

[26] 32,5%v O_2,
[26]32,5%v O_2,

[27] obrazujące poszczególne etapy płukania aparatu,
[27] showing each stage of apparatus flushing,

[28] 40%v O_2,
[28]40%v O_2,

[29] tzw. $primery$,
[29] the so-called $primers$,

[30] $outliers$,
[30] $outliers$,

[31] LCL-ang. Lower Control Level,
[31] LCL-ang. Lower Control Level,

[32] którą można ujawnić również za pomocą kart kontrolnych po dopasowaniu odpowiedniego rozkładu np. $Weibulla$,
[32] which can also be revealed by means of control charts after selecting the appropriate distribution, e.g. the $Weibull$ distribution,

[33] im wyższa zawartość tlenu w fazie dekompresji tym skuteczniejszy proces desaturacji gazów obojętnych z organizmu nurka,
[33] the higher the oxygen content in the decompression phase, the more effective the process of desaturation of inert gases from a diver's body,

[34] krótko i długoterminową,
[34] short and long term,

[35] przed zmianą procedury,
[35] before changing the procedure,

[36] modyfikacja procedury przepłukania aparatu,
[36] modification of the apparatus flushing procedure,

[37] stabilności i wycentrowaniu względem wartości nominalnej,
[37] stability and alignment relative to the nominal value,

[38] po identyfikacji i modyfikacji tylko jednego parametru,
[38] after the identification and modification of only one parameter,

[39] nie zgromadzono wystarczającej ilości rozkładów elementów próby. Próba nie jest reprezentatywna,
[39] after the identification and modification of only one parameter,

[40] np. ograniczenie ilości wykonywania procedur przepłukania przestrzeni oddechowej aparatu w trakcie pobytu na dnie w celu minimalizacji sygnału akustycznego na czas realizacji zadania,
[40] e.g. limiting the number of procedures for flushing the breathing loop of the apparatus while at the bottom, in order to minimize the acoustic signal for the duration of the task

[41] CTQ - ang. Critical to Quality,
[41] CTQ - ang. Critical to Quality,

[42] jest to system oparty na stałym określonym składzie mieszaniny nitroksowej odpowiadającej maksymalnej głębokości nurkowania. Dla tego systemu opracowuje się tabele dekompresji z odpowiadającymi im składami nitroksu,
[42] this is a system based on a fixed nitrox mixture composition corresponding to the maximum diving depth. For this system, decompression tables are developed with the corresponding nitrox composition,

[43] nadmiarowo,
[43] in excess,

[44] np. zastosowanie systemu komputerowego, który emuluje proces podejmowania decyzji przez człowieka,
[44] e.g. the use of a computer system which emulates the human decision making process,
,

[45] elementy wykonawcze,
[45] operational components,

[46] tlenowa toksyczność płucna i mózgowa,
[46] oxygen pulmonary and cerebral toxicity,

[47] technologie do zastosowań militarnych zakładają istnienie efektywnego nadzoru nad doborem i wytrenowaniem nurków np. mcm/eod. ponadto uwzględniają podstawowe wytyczne do kwalifikacji, przygotowania i utrzymania w kondycji nurków, dla których technologia nurkowania jest przeznaczona
[47]technologies for military applications presuppose the existence of an effective supervision over the selection of and training of divers, e.g. MCM/EOD. In addition, they take into account the basic guidelines for the qualification, preparation and keeping those divers in proper shape, for whom the diving technology is intended,

[48] inżynieryjnych, ratowniczych, bojowych lub minerskich,
[48] engineering, rescuing, combat or mine operations,

[49] Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 21 czerwca 2012 roku w sprawie bezpieczeństwa wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez ministra obrony narodowej (dz.u. nr 1 poz. 810 z późn. zm.),
[49] Regulation of the Minister of National Defence of 21 June 2012 regarding safety of underwater works in the organisational units subordinate to or supervised by the Minister of National Defence (JL No. 1, it. 810 as amended),

[50] o ile dotychczas nie zostały wykonane,
[50] if not performed already,

[51] MSA - ang. measurement system analysis,
[51] MSA - measurement system analysis.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF TREATING STREPTOCOCCAL INFECTIONS WITH HYPERBARIC OXYGENATION

BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ LECZENIA ZAKAŻEŃ PACIORKOWCOWYCH HIPERBARIĄ TLENOWĄ

Władysław Wolański

Institute of Marine Medicine Military Medical Academy, Gdynia, Poland
Instytut Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The aim of the study was to determine the effect of the application of hyperbaric oxygen therapy on the course of an infection with group A type T-3 hemolytic β streptococcus. Experiments were carried out on Porton white mice and in vitro blood plates. General and local infections with streptococci were induced in animals. The infected animals were treated with hyperbaric oxygenation. The lethal effect of infection was significantly inhibited using hyperbaric oxygenation on the first and second day following the infection.
Keywords: streptococcus, mouse, general infection, local infection, hyperbaric therapy.

Celem badania było określenie wpływu zastosowania leczenia hiperbarią tlenową na przebieg infekcji paciorkowcem βhemolizującym grupy A typ T-3. Doświadczalne przeprowadzono na myszach białych Porton oraz płytkach krwawych in vitro. U zwierząt wywoływano zakażenia ogólne i miejscowe paciorkowcami. Zwierzęta zakażone leczono oksygenacją hiperbaryczną. Stwierdzono istotne hamowanie letalnego wpływu zakażenia przy zastosowaniu oksygenacji hiperbarycznej w pierwszej i drugiej dobie po zakażeniu.
Słowa kluczowe: paciorkowiec, mysz, zakażenie ogólne, zakażenie miejscowe, terapia hiperbaryczna.

Целью исследования являлось определение влияния применения лечения кислородной гипербарией на течение инфекции бета-гемолитическим стрептококком группы А типа Т-3. Опыты проведены на белых мышах Портон и на тромбоцитах in vitro. У животных было вызвано общее и местное заражение стрептококками. Зараженных животных лечили гипербарической оксигенацией. Установлено существенное торможение летального влияния заражения при использовании гипербарической оксигенации в первые и вторые сутки после заражения.
Ключевые слова: стрептококк, мышь, общее заражение, местное заражение, гипербарическая терапия.

Ziel der Studie war es, den Effekt einer hyperbaren Sauerstoffbehandlung auf den Verlauf einer Infektion mit β-hämolytischen Streptokokken A Typ T-3 zu bestimmen. Die Experimente wurden an weißen Porton-Mäusen und in Vitro-Blutplatten durchgeführt. Bei den Tieren wurden eine allgemeine und lokale Infektionen mit Streptokokken verursacht. Die infizierten Tiere wurden mit hyperbarer Oxidation behandelt. Die tödliche Wirkung der Infektion wurde durch die hyperbare Oxygenierung am ersten und zweiten Tag nach der Infektion signifikant gehemmt.
Schlüsselwörter: Streptokokkus, Maus, allgemeine Infektion, lokale Infektion, hyperbare Therapie.

El objetivo del estudio ha sido determinar los efectos de la aplicación del tratamiento hiperbárico de oxígeno en el transcurso de una infección por β-estreptococos hemolíticos A tipo T-3. Los experimentos se llevaron a cabo con ratones blancos de Porton y placas sanguíneas in vitro. Se indujo en los animales una infección general y local con estreptococos. Los animales infectados se trataron con oxigenación hiperbárica. Se comprobó una reducción significativa de los efectos letales de la infección mediante la oxigenación hiperbárica en el primer y segundo día tras detectar la infección.
Palabras clave: estreptococos, ratón, infección general, infección local, terapia hiperbárica.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 70 Issue 1 pp. 43 – 46
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2020-0003
Pages: 4, figures: 0, tables: 1
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 19.01.2020 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 01.02.2020 r.

WSTĘP

W wielu różnych ośrodkach medycznych w minionych latach rozwijano stosowanie oksygenacji hiperbarycznej dla celów terapeutycznych. Podobnie przedmiotem badań wielu autorów było zagadnienie wpływu hiperbarii tlenowej na drobnoustroje, przebieg zakażenia oraz reakcje immunologiczne człowieka i zwierząt doświadczalnych [2,8,3,4,9].

Po okresie entuzjazmu i wielu zaleceń do leczenia różnych schorzeń hiperbarią tlenową, obecnie sprecyzowano wskazania i przeciwwskazania do stosowania tej metody leczniczej. Najlepsze wyniki w zakresie leczenia zakażeń hiperbarią tlenową uzyskuje się w leczeniu zgorzeli gazowej (*Clostridium perfrigens*), oraz przy leczeniu powierzchownych zakażeń powłok w następstwie urazów [7,4,9].

W przeglądzie piśmiennictwa opracowanym przez Gottlieba w 1971 roku [3], a dotyczącym badań nad wpływem hiperbarii tlenowej powyżej 1,3 ata O_2 na drobnoustroje, szereg autorów stwierdziło w większości wypadków hamujący wpływ tlenu na wzrost drobnoustrojów in vitro - szczególnie *Escherichia coli, Staphylococus aureus i Pseudomonas aeruginosa.* Jednocześnie stwierdzono różną wrażliwość bakterii w zakresie zahamowania wzrostu hiperbarii tlenowej w zależności od gatunku, jak i rodzaju bakterii.

Wiadomo z piśmiennictwa, że można by uzyskiwać korzystne efekty leczenia przy zastosowaniu oksygenacji hiperbarycznej również w zakażeniach paciorkowcowych [1]. Należy stwierdzić, że badania nad zagadnieniem wpływu oksygenacji hiperbarycznej w zakażeniach paciorkowcowych są nieliczne w skali światowej [6].

Z tego powodu, podjęto badania doświadczalne nad działaniem tlenu hiperbarycznego na rozwój zakażenia paciorkowcowego u zwierząt doświadczalnych.

MATERIAŁ I METODA

Badania prowadzono na myszach białych rasy Porton (samice i samce wagi 25-30 gramów), które zakażano dootrzewnowo celem wywołania zakażenia ogólnego 18 godzinną hodowlą bulionową na bulionie Todd-Hevitta paciorkowców βhemolizujących grupy A typu T-3 w ściśle określonej dawce drobnoustrojów obliczanej na podaną ilość hodowli paciorkowców.

Zakażone myszy podzielono na kilka grup i leczono hiperbarią tlenową przy ciśnieniu 2,8 ATA O_2, stosowaną w 5 seansach hiperbarycznych, w trzech kolejnych dniach po sobie następujących. W 1 dniu stosowano dwa seanse po 90 min. w odstępach 4 godz., w 2 dniu podobnie, zaś w 3 dniu 1 seans jak wyżej.

Zwierzęta, podzielone na cztery grupy, leczono: pierwsza grupa po 24 godzinach, druga po 48, trzecia po 72 i czwarta po 96 godzinach od momentu zakażenia. Dla każdej z grup stworzono równie liczną grupę kontrolną, w której nie wykonywano żadnych zabiegów.

W przebiegu kontroli zakażenia i leczenia wykonywano sekcje zwierząt, posiewy bakteriologiczne na podłoża do izolacji paciorkowców oraz badania histologiczne płuc, serca, nerek i wątroby. Wyizolowane paciorkowce badano pod względem właściwości fizjologicznych.

Obecnie prowadzone są badania nad wpływem hiperbarii tlenowej w przypadku zakażeń miejscowych

INTRODUCTION

The use of hyperbaric oxygenation for therapeutic purposes has recently been developed in many different medical centres. Similarly, numerous authors have studied the influence of hyperbaric oxygenation on microorganisms, the course of infection and immune reactions in humans and experimental [2,8,3,4,9].

Following a period of enthusiasm and multiple recommendations for the treatment of various diseases with oxygen hyperbaria, indications and contraindications for the use of this treatment method have now been clarified. The best results in the treatment of infections with hyperbaric oxygen are obtained in the treatment of gas gangrene (*Clostridium perfringens*) and in the treatment of superficial infections following trauma [7,4,9].

In a literature review prepared by Gottlieb in 1971 [3], concerning studies on the influence of oxygen hyperbaria above 1.3 ATA O_2 on microorganisms, a number of authors found in most cases the inhibitory effect of oxygen on microbial growth in vitro - especially *Escherichia coli, Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. At the same time, different susceptibility of bacteria to inhibit the growth of aerobic hyperbaria was found, depending on the species and type of bacteria.

It is known from the literature that beneficial effects of treatment with hyperbaric oxygenation could be obtained also in streptococcal infections [1]. It should be noted that research on the influence of hyperbaric oxygenation in streptococcal infections is scarce in the world [6].

For this reason, experimental studies have been undertaken on the effect of hyperbaric oxygen on the development of streptococcal infection in experimental animals.

MATERIAL AND METHOD

The study was carried out on Porton white mice (females and males weighing 25-30 grams), which were infected intraperitoneally in order to induce general infection with an 18-hour broth culture on Todd-Hevitt's broth with group A type T-3 β hemolytic streptococci in a strictly defined dose of microorganisms calculated on the given number of streptococci cultures.

Infected mice were divided into several groups and treated with hyperbaric oxygen at 2.8 ATA O_2, used in 5 hyperbaric sessions on three consecutive days. On day 1, two sessions of 90 minutes each were applied at 4-hour intervals, on day 2, and on day 3, 1 session as above.

Animals divided into four groups were treated as follows: first group after 24 hours, second group after 48, third group after 72 and fourth group after 96 hours from infection. For each group an equally large control group was created in which no treatments were performed.

In the course of infection and treatment control the animals were subjected to animal autopsy, and bacteriological cultures on streptococcus isolation media and histological examinations of lungs, heart, kidneys and liver were performed. The isolated streptococci were examined in terms of physiological properties.

Studies are currently being carried out on the effects of oxygen hyperbaria in the case of local infections in guinea pigs.

In the course of the study, the influence of aerobic

u świnek morskich.

W toku badań, wykonano również badania wpływu hiperbarii tlenowej na badany szczep paciorkowca na płytce krwawej, po ekspozycji 90 min.O_2 i ciśnieniu 2,8 ATA O_2 (po 24 godz. hodowli w cieplarce w temp. 37 ^oC).

WYNIKI

hyperbaria on the tested strain of streptococcus on the blood plate was also studied, after exposure of 90 minutes O_2 and pressure of 2.8 ATA O_2 (after 24 hours of cultivation in an incubator at 37^oC).

RESULTS

Tab. 1

Animal mortality depending on the time of treatment.

Śmiertelność zwierząt w zależności od czasu podjęcia leczenia.

	Group treated after 24 hours		Group treated after 48 hours		Group treated after 72 hours		Group treated after 96 hours	
	Hb.T	control	Hb.T	control	Hb.T	Hb.T	control	Hb.T
% of dead animals	30	50	26.6	26.6	% of dead animals	30	50	26.6

W trakcie badań obserwowano również częstość występowania ropni wątroby u zwierząt leczonych i nie leczonych hiperbarią tlenową - zaobserwowano obecność ropni wątroby w większej ilości u zwierząt nie leczonych hiperbarią tlenową.

Należy dodać, że badając paciorkowce hemolizujące grupy A na płytkach krwawych stwierdzono zahamowanie wzrostu bakterii na płytkach poddanych działaniu oksygenacji hiperbarycznej, co pokrywa się z wynikami prac innych badaczy 5. Ponadto, kolonie te wykazywały ledwie zaznaczoną (sferę) strefę hemolizy β (mniejszą niż w kontroli), przy braku zmian w teście Griffitha (aglutynacja ze swoistymi surowicami) oraz w testach biochemicznych.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań u myszy, u których wywoływano zakażenia ogólne - zaobserwowano korzystniejszy efekt leczniczy w przypadkach, w których leczenie oksygenacją hiperbaryczną rozpoczęto w okresie wczesnym (24 godz.). W późniejszym okresie prowadzenia leczenia oksygenacją hiperbaryczną, stwierdza się szybki rozwój zakażenia u zwierząt, a niekiedy i odwrotny efekt działania polegający na szybszym padaniu zwierząt leczonych. Obecność ropni wątroby stwierdzono częściej u zwierząt nie leczonych hiperbarią tlenową.

In the course of the study, the incidence of liver abscesses was also observed in animals treated and not treated with oxygen hyperbaria - more frequent liver abscesses were observed in animals not treated with oxygen hyperbaria.

It should be added that by testing group A hemolytic streptococci on blood plates, bacterial growth inhibition was found on those exposed to hyperbaric oxygenation, which is in line with the results of other researchers 5. In addition, these colonies showed a barely marked β hemolysis sphere (smaller than in the control group), with no changes in the Griffith test (agglutination with specific sera) and in biochemical tests.

CONCLUSIONS

On the basis of the studies carried out in mice with general infections, a more favourable therapeutic effect was observed in cases where treatment with hyperbaric oxygenation was initiated early (24 hours). Later on, hyperbaric oxygenation treatment was followed by rapid development of the infection in the animals, and sometimes the opposite effect was observed consisting in faster death of treated animals. Liver abscesses have been found more frequently in animals not being treated with hyperbaric oxygen therapy.

REFERENCES

1. Mc Allister T., Stark J., Ross R. - Hyperbaric oxygen and aerobic microorganisms, w Hyperbaric Oxygenation. Prec. of the Second Int. Congr. od. by J.Mc A. Ledingham. 1965. Edinbourgh and London;
2. Boerema J., Brummelkamp W., Meijne N. (eds.) - Clinical Application of Hyperbaric Oxygen. Prec. of the First Ist. Congr. September 1963. Amsterdam, London, New York;
3. Gottlieb S. - Effect of hyperbaria oxygen on microorganisms. Ann. Rev. Microb. 1971. 25:111-152;
4. Moretti G., Fontanesi S., Ghittoni L. - Prospettive attuali di impiego della ossigenaterapia iperbarica. Ann. di Med. Nav. e Trop. 1973. LXXVIII. 1:11-32;
5. Noble W. C. - The production of subcutaneous staphylococcal skin lesions in mice. In Brit. J. Exp. Path. 1965, 46, 254-262.
6. Rotta J. - Streptococcus pyogenes. Scientific Information. 5/74. Prague 1974;
7. Schreiner H. - Quantitative evaluation of effects of hyperbaric oxygen and antibiotic drugs on Staphylococcus. w Hyperbaric Oxygenation. Prec. of the Second Int. Congr. ed. by J. Mc A, Ledingham. 1965. Edinboutgh and London;

8. Tooley A., Watt J. - Hyperbaric oxygen therapy: Reviev of the present position and experience in the management of Navel patients. J. Rey. Nav. Med. Serv. 1968. Vol. 54:101-130;
9. Ulewicz K. - The use of hyperbaric oxygen in the treatment of infections. In: The basics of hyperbaric therapy. Eds. T. Doboszyński and T. Orłowski. Gdynia 1977.

Władysław Wolański
Instytut Medycyny Morskiej
Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni

COMPENSATORY PARAOXONASE AND ARYLESTERASE LEVELS IN HYPERBARIC OXYGEN TREATMENT OF SUDDEN SENSORINEURAL HEARING LOSS

POZIOMY KOMPENSACYJNE PARAOKSONAZY I ARYLESTERAZY W LECZENIU TLENEM HIPERBARYCZNYM NAGŁEJ GŁUCHOTY CZUCIOWO-NERWOWEJ

Esin Eren[1)], Necat Yilmaz[1)], Furkan Yildirim[2)], Ozlem Giray[3)]

[1)] SBÜ Antalya education and Research Hospital Central Toxicology Laboratories
[1)] SBÜ Szpital edukacyjny i badawczy w Antalya, Centralne Laboratoria Toksykologiczne
[2)] SBÜ Antalya education and Research Hospital Underwater and Hyperbaric Medicne
[2)] SBÜ Szpital edukacyjny i badawczy w Antalya, Instytut Medycyny Podwodnej i Hiperbarycznej
[3)] SBÜ Antalya education and Research Hospital Pharmacology
[3)] SBÜ Szpital edukacyjny i badawczy w Antalya, Instytut Farmakologii

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Objective: Paraoxonase1 (PON1) and Arylesterase (ARE) levels are associated with reduced risk of atherosclerosis. The functional status of high density lipoprotein (HDL) is closely related to the PON1/ARE enzyme activity. Functional changes in treatment of sudden sensorineural hearing loss (SSNHL) may be achieved by post-translational modification of lipid metabolism induced by hyperbaric oxygen therapy (HBOT).
Methods: Men patients with SSNHL who met the research criteria were included in the study. HBOT was performed on average 30 sessions. Laboratory measurements were made at the beginning and end of HBOT for the same patients. Serum levels of PON1/ARE and routine lipid laboratory parameters were measured to determine possible changes in SSNHL after HBOT.
Results: In this study, a reducing effect on PON1 enzyme amount of long-term HBOT was detected. The serum PON1 amount of patients with SSNHL was 19.7 ± 2.7 ng / mL (mean ± SD) before HBOT, and the serum PON1 decreased to 17.0 ± 2.1 ng / mL (mean ± SD) after 30 sessions of HBOT. This decrease in PON1 levels was statistically significant (p =0.035). There was also a statistically significant decrease in the enzyme activity of ARE in the SSNHL patients (p=0.024).
Conclusion: This preliminary study showed a significant decrease in serum PON1/ARE enzyme content in SSNLH patients with HBOT. In fact, it can be assumed that HBOT has no adverse effect on HDL functionality. However, the decrease in PON1 level by HBOT with 30 or more sessions may be important for the antioxidant function of HDL.It may possibly cause post-translational changes in antioxidant defense mechanisms due to increased oxidative stress with HBOT. In conclusion, larger clinical studies are needed to determine the possible effects of HBOT on HDL-related PON1/ARE functionality in SSNHL.
Keywords: Paraoxonase; Hyperbaric oxygen therapy; Inflammation; Oxidative stress; Reactive oxygen species Arylesterase.

Cel: Poziomy paraoksonazy1 (PON1) i arylesterazy (ARE) są pozwiązane ze zmniejszonym ryzykiem miażdżycy. Stan funkcjonalny lipoprotein o wysokiej gęstości (HDL) jest ściśle związany z aktywnością enzymu PON1/ARE. Zmiany funkcjonalne w leczeniu nagłej głuchoty czuciowo-nerwowej (SSNHL) mogą być osiągnięte poprzez potranslacyjną modyfikację metabolizmu lipidów wywołaną tlenoterapią hiperbaryczną (HBOT).
Metoda: Do badania włączono mężczyzn chorych na SSNHL, którzy spełnili kryteria badawcze. Badanie HBOT przeprowadzono średnio w 30 sesjach. Pomiary laboratoryjne wykonano na początku i na końcu terapii HBOT dla tych samych pacjentów. Zmierzono stężenie PON1/ARE w surowicy oraz rutynowe parametry laboratoryjne lipidów w celu określenia możliwych zmian w SSNHL po HBOT.
Wyniki: W badaniu stwierdzono wpływ redukujący na aktywność enzymu PON1 przy długotrwałym stosowaniu HBOT. Zawartość PON1 w surowicy pacjentów z ISHL wynosiła 20,7 ± 2,7 ng/ml (średnia ± SD) przed HBOT, zaś po 30 sesjach HBOT zmniejszyła się do 17,0 ± 2,1 ng/ml (średnia ± SD). Spadek ten był statystycznie istotny (p =0,035). Analogiczne wyniki wykazały statystycznie istotny spadek aktywności enzymu ARE (p=0,024).
Wnioski: Powyższe wstępne badanie wykazało istotny spadek zawartości enzymu PON1/ARE w surowicy u pacjentów z SSNLH, u których zastosowano terapię HBOT. W rzeczywistości można założyć, że krótkotrwałe zastosowanie HBOT nie ma negatywnego wpływu na funkcjonalność HDL. Jednak obniżenie poziomu PON1 przez HBOT przy 30 lub więcej sesjach może być istotne dla funkcji antyoksydacyjnej HDL. Może to potencjalnie prowadzić do potranslacyjnych zmian w mechanizmach obrony antyoksydacyjnej ze względu na zwiększony stres oksydacyjny przy HBOT. Podsumowując, konieczne jest przeprowadzenie szerszych badań klinicznych w celu określenia możliwego wpływu HBOT na funkcjonalność PON1/ARE związaną z HDL w SSNHL.
Słowa kluczowe: paraoksonaza; tlenoterapia hiperbaryczna; zapalenie; stres oksydacyjny; reaktywne formy tlenu; arylesteraza.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 70 Issue 1 pp. 47 – 52
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2020-0004
Pages: 6, figures: 1, tables: 2
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 17.01.2020 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 14.02.2020 r.

Цель: Уровни параоксоназы1 (PON1) и арилэстеразы (ARE) связаны со сниженным риском атеросклероза. Функциональное состояние липопротеинов высокой плотности (HDL) тесно связано с активностью фермента PON1/ARE. Функциональные изменения в лечении внезапной нервно-сенсорной глухоты (SSNHL) могут быть достигнуты через послетрансляционную модификацию метаболизма липидов, вызванную гипербарической окситерапией (HBOT).
Метод: В исследование были включены мужчины, страдающие SSNHL, которые соответствовали исследовательским критериям. Исследование HBOT проводилось в среднем в 30 сессиях. Лабораторные измерения были проведены в начале и в конце терапии HBOT для тех же пациентов. Измерена концентрация PON1/ARE в плазме и стандартные лабораторные параметры липидов с целью определения возможных изменений в SSNHL после HBOT.
Результаты: В ходе исследования установлено влияние на снижение активности фермента PON1 при долгосрочном применении HBOT. Содержание PON1 в сыворотке у пациентов с ISHL составило 20,7 ± 2,7 нг/мл (среднее значение ± SD) до HBOT, а через 30 сессий HBOT снизилось до 17,0 ± 2,1 нг/мл (среднее значение ± SD). Это снижение было статистически значимым (p =0,035). Аналогичные результаты показали статистически значимое снижение активности фермента ARE (p=0,024).
Выводы: Вышеописанное предварительное исследование показало существенное снижение содержание фермента PON1/ARE в сыворотке у пациентов с SSNLH, у которых была применена терапия HBOT. В реальности можно предположить, что краткосрочное применение HBOT не оказывает негативного влияния на функциональность HDL. Однако снижение уровня PON1 из-за HBOT при 30 и более сессиям может быть существенным для антиоксидантной функции HDL. Это может потенциально вести к послетрансляционным изменениям в механизмах антиоксидантной защиты по причине повышенного оксидантного стресса при HBOT. Подводя итог, необходимо проведение углубленных клинических исследований с целью определения возможного влияния HBOT на функциональность PON1/ARE, связанного с HDL в SSNHL.
Ключевые слова: Параоксоназа; гипербарическая оксигенотерапия; воспаление; оксидный стресс; реактивные формы кислорода; арилэстераза.

Ziel: Das jeweilige Niveau von Paraoxonase1 (PON1) und Arylesterase (ARE) ist mit einem verringerten Atheroskleroserisiko verbunden. Der Funktionszustand von High-Density-Lipoproteinen (HDL) steht in engem Zusammenhang mit der Aktivität des Enzyms PON1/ARE. Funktionelle Veränderungen in der Behandlung einer plötzlichen sensorineuralen Nervenertaubung (SSNHL) können durch posttranslationale Modifikation des Lipidstoffwechsels erreicht werden, die durch die hyperbare Sauerstofftherapie (HBOT) induziert wird.
Methode: Männer mit SSNHL-Erkrankung, die die Forschungskriterien erfüllten, wurden in die Studie einbezogen. Die HBOT-Studie wurde in durchschnittlich 30 Sitzungen durchgeführt. Labormessungen wurden zu Beginn und am Ende der HBO-Therapie bei denselben Patienten durchgeführt. Die PON1/ARE-Konzentration im Serum und routinemäßige Laborparameter von Lipiden wurden gemessen, um mögliche Veränderungen der SSNHL nach der HBO nachzuweisen.
Ergebnisse: Die Studie zeigte einen reduzierenden Effekt auf die Aktivität des PON1-Enzyms bei Langzeitanwendung von HBOT. Der PON1-Gehalt im Serum bei Patienten mit ISHL betrug vor der HBO 20,7 ± 2,7 ng/ml (Mittelwert ± SD), und nach 30 Sitzungen ging die HBO auf 17,0 ± 2,1 ng/ml (Mittelwert ± SD) zurück. Dieser Rückgang war statistisch signifikant (p =0,035). Analoge Ergebnisse zeigten eine statistisch signifikante Abnahme der ARE-Enzymaktivität (p=0,024).
Schlussfolgerungen: Die obige vorläufige Studie zeigte eine signifikante Abnahme des Serumgehalts des Enzyms PON1/ARE bei Patienten mit SSNLH, die sich einer HBO-Therapie unterzogen. Tatsächlich kann davon ausgegangen werden, dass die kurzfristige Verwendung von HBOT keine negativen Auswirkungen auf die HDL-Funktionalität hat. Eine Senkung des PON1-Spiegels durch HBOT nach 30 Sitzungen oder mehr kann jedoch für die antioxidative Funktion des HDL wichtig sein. Dies kann aufgrund des erhöhten oxidativen Stresses der HBO möglicherweise zu posttranslationalen Veränderungen der antioxidativen Abwehrmechanismen führen. Abschließend ist festzustellen, dass umfangreichere klinische Studien erforderlich sind, um den möglichen Einfluss der HBO auf die HDL-bezogene Funktionalität von PON1/ARE in SSNHL zu bestimmen.
Schlüsselwörter: Paraoxonase; hyperbare Sauerstofftherapie; Entzündung; oxidativer Stress; reaktive Sauerstoffspezies; Arylesterase.

Objetivo: Los niveles de paraoxonasa1 (PON1) y arilesterasa (ARE) se asocian con un menor riesgo de arteriosclerosis. El estado funcional de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) se relaciona estrechamente con la actividad de la enzima PON1/ARE. Los cambios funcionales en el tratamiento de la pérdida súbita de audición neurosensorial (SSNHL) pueden lograrse mediante la modificación postraduccional del metabolismo de los lípidos inducida por la terapia de oxígeno hiperbárico (HBOT).
Método: Se incluyeron en el estudio hombres con SSNHL que cumplían con los criterios de estudio. La prueba HBOT se realizó en una media de 30 sesiones. Se hicieron mediciones de laboratorio al principio y al final de la terapia HBOT para estos mismos pacientes. Se midió la concentración de PON1/ARE en suero y los parámetros rutinarios de laboratorio de los lípidos para determinar posibles cambios en el SSNHL tras la HBOT.
Resultados: El estudio mostró un efecto reductor de la actividad de la enzima PON1 durante un uso prolongado de la HBOT. El contenido de PON1 en suero de los pacientes con ISHL fue de 20,7 ± 2,7 ng/ml (media ± SD) antes de la HBOT, y tras 30 sesiones la HBOT disminuyó a 17,0 ± 2,1 ng/ml (media ± SD). Esta disminución fue estadísticamente significativa (p =0,035). Resultados análogos mostraron una disminución estadísticamente significativa de la actividad de la enzima ARE (p=0,024).
Conclusiones: Este estudio preliminar mostró una disminución significativa de la encima PON1/ARE en suero en aquellos pacientes con SSNLH sometidos a la terapia HBOT. En realidad, puede asumirse que el uso a corto plazo de la HBOT no tiene un impacto negativo en la funcionalidad del HDL. Aunque, la reducción del nivel de PON1 debido a la HBOT en 30 o más sesiones puede ser importante para la función antioxidante del HDL. Esto puede conducir potencialmente a cambios postraduccionales en los mecanismos de defensa de los antioxidantes debido al aumento del estrés oxidativo en la HBOT. En conclusión, se necesitan estudios clínicos más extensos para determinar el posible impacto de la HBOT en la funcionalidad del PON1/ARE relacionada con el HDL en el SSNHL.
Palabras clave: paraoxonasa; oxigenoterapia hiperbárica; inflamación; estrés oxidativo; formas reactivas de oxígeno; arilesterasa.

INTRODUCTION

HBOT acts as a primary or secondary treatment for a variety of medical conditions. The use of HBOT has increased markedly in various diseases over the past decade [1]. The etiology for sudden sensorineural hearing loss (SSNHL) is defined in only 10 % of cases, whereas the rest are labeled as idiopathic [2-4]. So, how can be HBOT effective with a common molecular pathway in treatment of SSNHL? SSNHL was first described in 1944 and its incidence is 5-20/100000. [4]. However, the incidence is thought to be higher due to the fact that patients who recover spontaneously do not seek medical attention. The reason for the etiology of sudden hearing loss is not found in many patients and is considered idiopathic [5]. Little is known about the association between SSNHL and oxidative stress [3]. In addition, endothelial dysfunction and vascular diseases are also involved in etiopathogenesis of SSNHL [6]. In particular, the feeding of the cochlea from the posterior cerebral circulation with a single terminal branch may explain the sudden and rapid course in the SSNHL of vascular etiopathogenesis. In addition, many clinical studies have shown that SSNHL patients often present with systemic arterial hypertension, diabetes mellitus and dyslipidemias with atherosclerosis, and thromboembolic risk [2-6].

Serum lipid changes associated with HBOT have not yet been well identified in humans, particularly with a focus on HDL functionality [1,7].We could not find a study showing the effect of treating SSNHL patients with HBOT on the enzymes PON1/ARE, which is linked to HDL, in literature. In previous research, the combined effect of hyperbaric oxygen pressure has led to a significant improvement in tissue oxidation. It also revealed that anti-apoptotic and anti-atherosclerotic effects increased mitochondrial metabolism. It is known that elevation in free radical formation or intensive antioxidant molecule consumption after HBOT leads to post-translational modification of biological macromolecules such as lipids, lipoproteins, and enzymes [8].

However, there are no studies in the literature showing the effect of HBOT on PON1/ARE in SSNHL patients. Recently effect of decreased anti-inflammatory and antioxidant activities of PON1 with HBOT has been shown in different pathologies [1]. Naturally, PON1/ARE is an HDL-associated enzyme activity with strong anti-oxidative and athero-protective effects, with the potential to hydrolyze oxidized low density lipoprotein (LDL). Our aim in this study was to evaluate the possible effect of prolonged HBOT on HDL-associated PON1/ARE levels in SSNHL patients.

MATERIAL AND METHOD

STUDY POPULATION AND CLINICAL EXAMINATIONS

In this prospective cross sectional research 43 patients between the ages of 20-52 years were included in this study as a prospective work 6-month period with HBOT (mean age: 39.3 ± 12.7). For this purpose, male patients who applied to the Department of Hyperbaric Medicine with the diagnosis of sudden hearing loss were evaluated according to clinical diagnosis / follow-up. All patients received a comprehensive physical examination, a generalized questionnaire, and informed consent before being included in the study. In the survey: age, socio-economic status, ancestral roots, physical activity status, smoking, alcohol consumption and detailed medical history were recorded. Patients were excluded if they had any of the following: hearing loss caused by rupture of round windows membrane, concomitant marked vestibular symptoms, autoimmune diseases, upper respiratory tract infection in the last 4 weeks, fluctuating hearing loss, or contraindications to our treatment protocol.

Body mass index was measured by dividing weight in kilograms by height by square meters. According to the American Heart Association / American College of Cardiology, hypertension was defined as a systolic blood pressure of at least 140 mmHg and diastolic blood pressure of at least 90 mmHg. As a result, blood pressure was measured manually in all patients.Primary, the criteria for participation consisted of patients older than 18 who had no contraindication to HBOT. Criteria for exclusion were included smoking, alcohol consumption, existing anti-lipid and antioxidant treatments. Clinical and laboratory data were recorded for all patients. The protocol was approved by the Institutional Review Board and carried out in accordance with the revised Helsinki Declaration in 2001. Informed consent was taken from all participants.

HBOT PROTOCOL

Each successive HBOT sessions were held five days a week, with each session being 120 minutes. In a multi-atmosphere hyperbaric chamber (Baroks, MUL 35), each participant breathes 100% oxygen in 2.5 atmospheres, with air break times of five minutes every 30 minutes. Each HBOT session also had 15-minute compression and 10-minute decompression times.

BLOOD SAMPLING AND LABORATORY MEASUREMENTS

BLOOD SAMPLE COLLECTION

Before beginning the HBOT, blood samples were taken from all patients after 12 hours of starvation. Therefore, blood samples were taken in the mornings after a night of fasting in study. During the HBOT of SSNHL patients, 20 th and 39 th in between HBOT sessions, once again starvation blood was taken. The blood were then centrifuged for 15 minutes at 3,000 rpm and the serum was then stored at -80 °C for PON1 and ARE enzyme analysis. Routine lipid parameters were measured immediately.

ROUTINE LABORATORY PARAMETERS

Triglycerides (TGs), total cholesterol (TC), LDL-cholesterol (LDL-C), HDL-cholesterol (HDL-C) and serum creatinine levels, an auto analyzer (Architect c16000, Abbott Diagnostics) assay with commercially available kits (Abbott) was determined using.

MEASUREMENT OF PON1 CONCENTRATIONS

The samples were tested for Human PON1 concentrations (Biont, catalog no: YLA0984HU), using a sandwich enzyme-linked immunosorbent experiment, according to the manufacturer's instructions. The PON1 concentrations results was expressed as ng / ml.

MEASUREMENT OF ARE ENZYME ACTIVITY

PON1/ARE enzyme activity were measured by using commercially available kit (Relassay®). Phenyl acetate was used as a substrate to measure serum ARE activity. The molar absorptivity of the colored complex is 400 m2/mol and 1 U of PON1/ARE activity is equal to 1 mmol of phenyl acetate hydrolyzed per liter per minute at 37°C. Double-distilled water (ddH2O) was used as a negative control during spectrometry. The activity of PON1/ARE was expressed as kU/L.

STATISTICAL ANALYSIS OF DATA

Continuous variables were presented as mean ± SD, while categorical variables were presented as numbers and percentages. Statistical analysis MedCalc statistical software version 15, 8 (MedCalc Software Bvba, Ostend, Belgium; https://www.medcalc.org; 2018) was made using. The Kolmogorov-Smirnov test was used to evaluate the distribution of continuous variables, the paired-sampled t-test, Pearson Chi-Square test for frequencies were used to compare measurements. P-value <0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

The demographic and clinical characteristics of the subjects included in this study are shown in Table 1. The mean body mass index of the patients was 22.7 ± 3.8 kg / m2 and the number of HBOT sessions received ranged from 20-39 sessions(mean: 30). No adverse side effects or unexpected clinical signs were observed in patients receiving HBOT. Treatment responders were divided into two groups; healing (full recovery) and no recovery (Table 1).

At the beginning before treatment, serum PON1 levels were 19.7 ± 2.7 ng / ml (mean± SD). However, after 30 sessions, serum PON1 amount was reduced to 17.0 ± 2.1 ng/ml. At the end of the average 30th session, this decrease in PON1 was statistically significant p = 0.0036.

Also serum ARE enzyme activitiy were significantly lower in patients with SSNHL in after HBOT (228.4 ± 51.2 kU/L) compared to before HBOT (178.2 ± 42.5 kU/L), p=0.024. In addition, mean serum lipid levels for both pre-and post-HBOT are given in Table 2. As expected there was no statistically significant difference in all routine lipid parameters after HBOT.

DISCUSSION

Firstly, this study shows that long term HBOT were also might associated with changes in HDL metabolism. Because it is known that the imbalance of free radical formation or intensive consumption of antioxidant molecules leads to relatively decreased of biological macromolecules such as serum PON1 levels [9]. A balance shifting towards increased oxidative stress in SSNHL has been recently reported [2]. The most important finding of this study is, of course, the decrease in the PON1 concentrations in the serum of patients receiving HBOT. It should be kept in mind that HDL-functionality is mostly made up of activity of PON1/ARE [1]. The importance of this study lies in measuring the response to HBOT of HDL-related PON1/ARE enzymes sensitive to changes in oxygen concentration in SSNHL disease. This findings may be important in an environment where patients are exposed to extremely high concentrations of oxygen, such as during HBOT.

In the literature, there is very little research showing the effect of HBOT on molecules. For example, in one study, changed levels of platelet activating factor was demonstrated in diseases after HBOT. As a result, it has been reported that the platelet activating factor increases after HBOT [8]. A recent study also reported a well increase in HBOT and HDL-associated ApoA-1 levels [1]. Similarly, data obtained in this study demonstrated a significant decrease in serum PON1 levels and HDL-related anti-oxidant ARE enzyme activity in SSNHL patients. Whereas, TC, HDL-C, TGs, and TGs/HDL-C levels were not significantly changed. According to these results; it is possible to deal with oxidative stress that may occur as a result of high oxygen pressure applied during HBOT, but it can be considered that HDL-related antioxidant molecules are reduced due to higher consumption of PON1/ARE enzymes. The fact that we have similar findings with a study in the literature supports this idea [9].

The study, which reported the decreased amount of PON1 with HBOT in the literature, generally included a number of different types of diseases along with SSNHL [1,10]. However, the improvement of the majority (88%) of SSNHL patients participating in this study showed the effectiveness of the response to HBOT. In addition, the information in the literature reported a relationship between HBOT and the dehydration of patients, which may lead to a relative change in serum parameters [11]. Although all of the patients started steroid therapy prior to HBOT, these positive changes were observed after HBOT therapy. Optimal criteria for HDL functionality and a standardized regimen for HBOT should be applied in routine practice. If 30 sessions or more of HBOT will be applied to SSNHL patients, PON / ARE enzyme activity protective applications can be added to the treatment protocol. So, this study is not without limitations. But to our knowledge, this is the first report demonstrating decreased of serum PON1, in SSNHL patients after HBOT.

CONCLUSIONS

Presumably, antioxidative responses can be increased by oxidant response. In several studies antioxidants have been used as a therapeutic measure for causes of hearing loss. The results we obtained in this study regarding HBOT should be supported by wider and long-term studies. There is no doubt that HBOT will to take a wider place in the future in modern medical use. Finally, these findings may suggest that serum HDL-related PON1 and ARE levels are important factors for response the HBOT in SSNHL patients.

Tab. 1

Clinical characteristics of SSNHL patients and laboratory findings.

Parameters	Mean ± SD	Range
Age (years)	39.3 ± 12.7	20-52
Male gender, n (%)	43 (100)	
Weight (kg)	67 ± 10.0	57-84
BMI (kg/m²)*	22.7 ± 3.8	20-32
Number of sessions received	30	20-40
Number of full recovery, n (%)	38 (88.37)	

*BMI=Body Mass Index , **Pearson Chi-Square test for frequencies.

Tab. 2

SSNHL patients and laboratory findings.

Laboratory parameters	Before HBOT	After HBOT	p Values =
PON1 (ng/ml)	19.7 ± 2.7	17.0 ± 2.1	0.0036*
ARE (kU/L)	228.4 ± 51.2	178.2 ± 42.5	0.024*
TC (mmol/L)	4.75 ± 1.2	4.70 ± 1.1	0.084
LDL (mmol/L)	2.67 ± 0.8	2.07 ± 1.4	0.078
TG/HDL-C	2.456 ± 0.87	2.33 ± 0.93	0.063
HDL (mmol/L)	1.03 ± 0.29	1.04 ± 0.29	0.062
TG (mmol/L)	2.05 ± 1.3	2.07 ± 1.4	0.069

*Paired samples t-test p<0.05
Mean±SD=Standard Deviation, TC=Total cholesterol, HDL-C=High-density lipoprotein-cholesterol, LDL-C=Low-density lipoprotein-cholesterol, TG=Triglycerides.

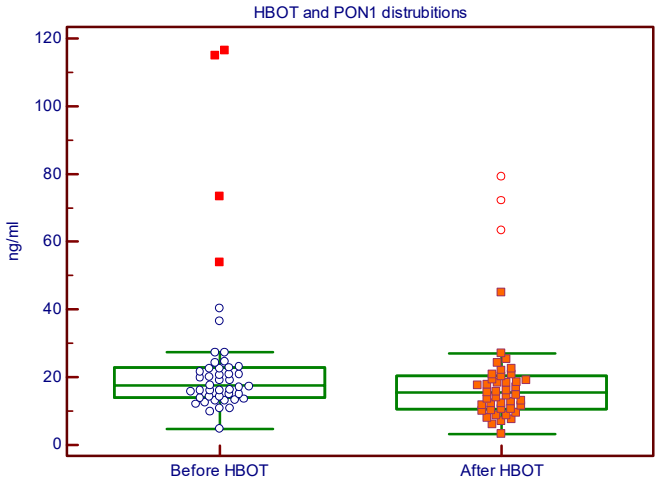


Fig. 1 Multiple comparisons Graph of PON1 amounts before and after HBOT. Distribution of serum PON1 in SSNHL patients. In the Box-and-whisker plot, the central box represents the values from the lower to upper quartile (25 to 75 percentile). The middle line represents the median. The horizontal line extends from the minimum to the maximum value, excluding outside and far out values which which are displayed as separate points.

References

1. Eren E, Yilmaz N, Yildirim F, Giray O HDL functionality in patients with hyperbaric oxygen therapy .Internet Journal of Medical Update. 2019 January; 14(1):5-10. doi:10.4314/ijmu.v14i1.2;
2. Paprocki J, Sutkowy P, Piechocki J, Woźniak A.The Oxidant–Antioxidant Equilibrium in the Blood of People with Sudden Sensorineural Hearing Loss After the First Hyperbaric Oxygen Therapy Session – A Preliminary Study PolHypRes .Volume 61: Issue 4 28 Apr 2018: 15–24 doi:10.1515/phr-2017-0018;
3. Paprocki J, Sutkowy P, Piechocki J, Woźniak A Markers of Oxidant-Antioxidant Equilibrium in Patients with Sudden Sensorineural Hearing Loss Treated with Hyperbaric Oxygen Therapy.Oxid Med Cell Longev. 2019; 2019: 8472346. doi: 10.1155/2019/8472346;
4. Gul F, Muderris T, Yalciner G, Sevil E, Bercin S, Ergin M, Babademez MA, Kiris M.A comprehensive study of oxidative stress in sudden hearing loss.Eur Arch Otorhinolaryngol. 2017;274(3):1301-1308. doi: 10.1007/s00405-016-4301-1.
5. Uzun G, Mutluoglu M, Metin S.The use of hyperbaric oxygen treatment for sudden sensorineural hearing loss in Europe.Diving Hyperb Med. 2016;46(1):43-6.PMID: 27044462;
6. Berjis N, Moeinimehr M, Hashemi SM, Hashemi SM, Bakhtiari EK, Nasiri S. Endothelial dysfunction in patients with sudden sensorineural hearing loss.Adv Biomed Res. 2016 Jan 27;5:5.doi: 10.4103/2277-9175.174978;
7. Eren E, Yılmaz N, Aydin O, Ellidağ HY. Anticipatory role of high density lipoprotein and endothelial dysfunction: an overview.Open Biochem J.2014;31;8:100-6.doi:10.2174/1874091X01408010100;
8. Eren E, Yildirim F, Giray O Yilmaz N Hyperbaric Oxygen Treatment is Associated with Lipid Inflammatory Response Assessed Using Serum Platelet Activating Factor. PolHypRes 2019 ,67 2. 103 – 108. doi: 10.2478/phr-2019-0009;
9. Kozakiewicz M, Kedziora-Kornatowska K, Kaczerska D, Siermontowski P, Olszanski R, Krefft K. Influence of exposure in hyperbaric chambers on selected parameters of oxidative stress in professional divers. Undersea Hyperb Med. 2018;45(1):49-54;
10. Dinc ME, Ulusoy S, Is A, Ayan NN, Avincsal MO, Bicer C, Erel O.,Thiol/disulphide homeostasis as a novel indicator of oxidative stress in sudden sensorineural hearing loss.J Laryngol Otol. 2016 May;130(5):447-52. doi: 10.1017/S002221511600092X;

11. Kaczerska D, Siermontowski P, Kozakiewicz M, Krefft K, Olszański R.Dehydration of a diver during a hyperbaric chamber exposure with oxygen decompression.Undersea Hyperb Med. 2019 Mar-Apr-May;46(2):185-188.

prof dr Necat Yilmaz SBÜ
AEAH Lc-MS/MS laboratory clinical laboratory education director
Antalya, Turkey
e-mail: necatyilmaz@hotmail.com

RESEARCH ON THE TIME OF VISUAL MUSCULAR RESPONSE IN DIVERS DURING DIVING

BDANIA NAD CZASEM REAKCJI WZROKOWO-MIEŚNIOWEJ U NURKÓW PODCZAS NURKOWANIA

Augustyn Dolatkowski, Kazimierz Dęga, Stanisław Klajman, Janusz Torbus

Department of Marine Medicine of the Military Medical Academy in Gdynia
Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The paper presents a continuation of studies on the influence of increased ambient pressure on the eye-muscle reflex. Using the same methods, the research was carried out in real conditions, i.e. during dives in water. Dives were performed in classical equipment with air as a breathing mix at depths of 10, 20, 30, 40, 50 and 60 m. It was found that statistically significant differences in the time of eye-muscle reflexes occur during the transition from 0 to 10, from 40 to 50 and 50 to 60 meters of overpressure. In the conclusions, it was found that the prolongation of reflex time is much greater than in hyperbaric chamber studies. As in previous studies, toxic effects of components of the breathing mixture, especially nitrogen, were considered the main cause.
Keywords: diving, eye-muscle reflex, nitrogen narcosis.

W pracy przedstawiono kontynuację badań dotyczących wpływu podwyższonego ciśnienia otoczenia na odruch wzrokowo mięśniowy. Stosując te same metody, przeprowadzono badania w warunkach rzeczywistych, czyli podczas wykonywania nurkowań w wodzie. Nurkowania wykonywane były w sprzęcie klasyczny z powietrzem jako czynnikiem oddechowym na głębokości 10, 20, 30, 40 , 50 i 60 m. Stwierdzono, że statystycznie znamienne różnice czasu odruchu nerwowo – mięśniowego występują przy przejściu z nadciśnienia 0 do 10, z 40 do 50 i 50 do 60 metrów. We wnioskach stwierdzono, że przedłużanie się czasu odruchu jest znacznie większe, niż podczas badań w komorze hiperbarycznej. Podobnie jak w poprzednich badaniach za główną przyczynę uznano toksyczne działanie składników mieszaniny oddechowej a szczególnie azotu.
Słowa kluczowe: nurkowanie, odruch nerwowo – mięśniowy, narkoza azotowa.

В работе представлено продолжение исследований относительно влияния повышенного давления окружающей среды на зрительно-моторную реакцию. Используя ту же самую методику, проведены исследования в реальных условиях, то есть при выполнении погружений под воду. Погружения выполнялись в классическом снаряжении, с воздухом в качестве дыхательного фактора, на глубину 10, 20, 30, 40, 50 и 60 м. Установлено, что статистические показатели разницы нервно-моторной реакции возникают при переходе с давления от 0 до 10, от 40 до 50 и с 50 до 60 метров. В выводах установлено, что увеличение реакции значительно больше, чем при исследованиях в гипербарической камере. Как и в предыдущих исследованиях, основной причиной принято токсическое действие составляющих дыхательной смеси, а особенно азота.
Ключевые слова: Подводное плавание, нервно-моторная реакция, азотный наркоз.

Die Arbeit stellt die Fortführung der Untersuchungen zum Einfluss eines erhöhten Umgebungsdrucks auf den Reflex der Sehmuskeln vor. Mit den gleichen Methoden wurde die Untersuchung unter realen Bedingungen, d.h. beim Tauchen im Wasser, durchgeführt. Die Tauchgänge wurden mit klassischer Tauchausrüstung und Luft als Atemmedium in Tiefen von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 m durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass statistisch signifikante Unterschiede in der Zeit der neuromuskulären Reflexe während des Übergangs bei Hypertonie von 0 auf 10, von 40 auf 50 und von 50 auf 60 m auftreten. In den Schlussfolgerungen wurde festgestellt, dass die Verlängerung der Reflexzeit viel größer ist als bei hyperbaren Kammertests. Wie in früheren Untersuchungen wurde die toxische Wirkung von Komponenten des Atemwegsgemisches, insbesondere von Stickstoff, als Hauptursache angesehen.
Schlüsselwörter: Tauchen, neuromuskulärer Reflex, Stickstoffanästhesie.

El trabajo presenta una continuación de los estudios sobre la influencia del aumento de la presión ambiental en el reflejo muscular visual. Utilizando los mismos métodos, las pruebas se llevaron a cabo en condiciones reales, es decir, al realizar submarinismo bajo el agua. Las inmersiones se realizaron con equipos clásicos, con aire como medio de respiración a profundidades de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 m. Se confirmó que las diferencias estadísticamente significativas en el tiempo del reflejo neuromuscular aparecen en la transición a una hipertensión de 0 a 10, de 40 a 50 y de 50 a 60 metros. En las concusiones se confirma que el aumento del tiempo de reflejo es mucho mayor que en las pruebas en cámara hiperbárica. Al igual que en estudios anteriores, se consideró que la causa principal eran los efectos tóxicos de los componentes de la mezcla respiratoria, especialmente el nitrógeno.
Palabras clave: buceo, reflejo nervioso-muscular, anestesia de nitrógeno.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2020 Vol. 70 Issue 1 pp. 53 – 58
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.2478/phr-2020-0005
Pages: 6, figures: 1, tables: 1
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Opublikowano w Roczniku służby zdrowia Marynarki Wojennej Gdynia 1966
Termin zatwierdzenia do druku w PHR: 19.09.2019 r.

WSTĘP

Praca niniejsza jest drugą częścią badań prowadzonych nad zachowaniem się czasu odruchu prostego (w naszym wypadku odruchu wzrokowo-mięśniowego) u nurków. W pierwszej części zbadano w warunkach modelowych, w komorze ciśnieniowej wpływ sprężonego powietrza na czas odruchu wzrokowo-mięśniowego u nurka [3]. Stwierdzono, że sprężone powietrze, poprzez swoje specyficzne działanie na ustrój ludzki, powoduje wydłużenie czasu odruchu wzrokowo – mięśniowego. Wydłużenie to występowało w dwóch skokach. Pierwsze wydłużenie tego czasu zaobserwowano przy wzroście ciśnienia w komorze do 1 atn (termin atn użyto w znaczeniu atmosfer powyżej ciśnienia atmosferycznego, normalnego). Tłumaczyć to możemy proporcjonalnie największym przeskokiem stosunku ciśnienia do objętości, któremu został poddany badany. Przy dalszym podnoszeniu ciśnienia w komorze następowała adaptacja, wyrażająca się skróceniem czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego. Skrócenie to utrzymywało się do 5 atn. Przy zmianie ciśnienia do 6 atn wystąpiło gwałtowne, wydłużenie czasu odruchu, tłumaczone narkotycznym działaniem sprężonego powietrza na ośrodkowy układ nerwowy.

Celem badań wykonanych w obecnej pracy była konfrontacja wyników obserwacji czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego uzyskanych w warunkach modelowych w komorze ciśnieniowej z obserwacjami tego czasu w warunkach rzeczywistych, podczas pracy nurka pod wodą. W środowisku tym na nurka działa nie tylko sprężone powietrze, lecz dołączają się i inne czynniki, które mogą wpłynąć na przebieg odruchów prostych.

Specyfika prac pod wodą w warunkach wysokiego ciśnienia stwarza konieczność doboru kandydatów do tego zawodu wykazujących szczególnie wysoką sprawność psycho-fizyczną. W ocenie tej sprawności badanie czasu reakcji prostych ma duże znaczenie.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

W badaniu wzięło udział 30 zdrowych, wytrenowanych nurków wojskowych w wieku od 20 do 28 lat (średni wiek 24 lata), których staż pracy wynosił od 1 do 9 lat (średnio 40 miesięcy).

Badania czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego wykonywano przy użyciu przyrządu własnej konstrukcji, przystosowanego do badań pod wodą. Dokładność zapisu wynosiła 0,002 sek. Przyrząd ten składał się z części zapisującej czas odruchu wzrokowo-mięśniowego oraz latarki nurkowej, której użyto jako elementu sygnalizacyjnego dostosowanego do pracy pod wodą. Była ona połączona z częścią zapisującą 80 metrowym przewodem elektrycznym stosowanym w łączności podwodnej.

Nurkowania wykonywano w skafandrze klasycznym, czynnik oddechowy powietrze podawany z powierzchni. Dla ochrony przed zimnem, które mogłoby wpłynąć na ruchomość palców ręki, nurek miał na ręku rękawiczkę wełnianą, a na niej cienką rękawiczkę gumową. Nurkowanie przeprowadzano podczas zanurzania nurka w czasie zgodnym z tabelami Marynarki Wojennej. Po osiągnięciu głębokości na której wykonano ostatni pomiar, rozpoczynano wynurzanie nurka. Nurkowie przebywali pod wodą około 1,5 godziny.

INTRODUCTION

This study is the second part of the research conducted on the behaviour of the simple reflex time (in our case the eye-muscle reflex) in divers. In the first part, the influence of compressed air on the diver's eye-muscle reflex time was examined under model conditions in a hyperbaric chamber [3]. It was found that compressed air, due to its specific effect on the human body, causes prolongation of the eye-muscle reflex time. This elongation occurred in two stages. The first extension of this time was observed when the pressure in the chamber increased to 1 atm (the term atm is used in the meaning of atmospheres above atmospheric pressure, normal). This can be explained by the proportionally highest pressure/volume leap to which the examined person has been subjected. When the pressure in the chamber was further increased, an adaptation occurred, which was expressed as a shortening of the eye-muscle reflex time. This reduction was maintained to 5 atm. When the pressure was changed to 6 atm,, the reflex time was abruptly increased due to the narcotic effect of compressed air on the central nervous system.

The aim of the research carried out in the present study was to compare the results of observations of eye-muscle reflex time obtained under model conditions in the hyperbaric chamber with the observations of that time in real conditions, while the diver is working under water. In this environment, the diver is affected not only by compressed air, but also by other factors that may affect the progression of simple reflexes.

The specific nature of work under water in high pressure conditions makes it necessary to select candidates for this profession who demonstrate particularly high psycho-physical fitness. In the assessment of this competence, the study of simple reaction times is of great importance.

RESEARCH MATERIAL AND METHODOLOGY

The study was carried out on 30 healthy, trained military divers aged 20 to 28 years (average age 24 years), whose length of service ranged from 1 to 9 years (on average 40 months).

The tests of the eye-muscle reflex time were carried out with the use of an instrument of our own design, adapted for testing under water. The recording accuracy was 0.002 seconds. The instrument consisted of a part which recorded the eye-muscle reflex time and a diving torch, which was used as a signalling element adapted to work under water. It was connected to the recording section by an 80 metre long electric cable used for underwater communication.

The dives were performed in the standard hard hat dive equipment of the day, the breathing mix being the air supplied from the surface. To protect against the cold, which could affect the mobility of the fingers, the diver wore a woollen glove under a thin rubber dry-glove. The diving was carried out according to the descent logic defined by the Navy tables. After reaching the depth at which the last measurement was made, the diver began to ascend. The divers were underwater for about 1.5 hours.

The tests were conducted at air temperature from 5°C to 13°C (average 8°C), water temperature from 4°C to 6°C (average 4.5°C) and barometric pressure from

Badania przeprowadzono przy ciepłocie powietrza od 5° C do 13° C (średnio 8° C), ciepłocie wody od 4° C do 6° C (średnio 4,5° C) i ciśnieniu barometrycznym od 750 mm Hg do 768 mm Hg (średnio 753 mm Hg).

Doświadczenie przebiegało w następujący sposób: po ubraniu nurka w skafander przed rozpoczęciem nurkowania oznaczano powierzchniowy czas odruchu wzrokowo-mięśniowego. Nurek trzymając w prawej ręce latarkę nurkową obserwował jej reflektor. Na jej zapalenie reagował naciśnięciem przycisku znajdującego się na rączce latarki. Moment zapalenia żarówki i naciśnięcia przez nurka przycisku był zapisywany przez przyrząd rejestrujący. Następnie oznaczano kolejno w ten sam sposób czas odruchu wzrokowo-mięśniowego przy schodzeniu nurka pod wodę na głębokości: 10m/1 atn/, 20m/2 atn/, 30m/3 atn/, 40m/4 atn/, 50m/5 atn/, 60m/ 6 atn/.

Czas odruchu wzrokowo-mięśniowego wyrażony w msek na poszczególnych poziomach ciśnień poddano analizie statystycznej. Oznaczono średnią czasu dla 30 nurków na poszczególnych poziomach ciśnień i odchylenie standardowe (StDev.) od tych średnich. Uzyskane wyniki porównano ze sobą zgodnie z założeniami testu „t" Studenta.

WYNIKI BADAŃ

Średnie czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego oznaczone u 30 nurków podczas nurkowania do głębokości 60 metrów zestawiono w tabeli I.

750 mm Hg to 768 mm Hg (average 753 mm Hg).

The experiment was as follows: Prior to diving, but after the diver had put on his dive suit, the surface time of the eye-muscle reflex was recorded. The reflex speed of the diver was measured by getting him to look directly into the reflector of a dive torch he was holding in his right hand. When he observed the torch illuminating, the diver would press a button mounted on the torch and linked to a recording device that measured the speed of his reactions. Next, the time of the eye-muscle reflex was measured in the same way when the diver descended into the water to the depths of: 10m/1 atm/, 20m/2 atm/, 30m/3 atm/, 40m/ 4 atm/, 50m/5 atm/, 60m/ 6 atm/.

The time of the eye-muscle reflex expressed in milliseconds at particular pressure levels was subject to statistical analysis. The mean time for 30 divers at particular pressure levels and standard deviation (StDev.) from these averages were determined. The obtained results were compared against each other according to the assumptions of the Student's "t" test.

RESEARCH RESULTS

Average eye-muscle reflex times recorded in 30 divers during a dive to 60 meters are shown in Table I.

Tab.1

Average eye-muscle reflex times recorded in 30 divers during a dive to a depth of 60 meters.

Średnie czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego oznaczone u 30 nurków podczas nurkowania do głębokości 60 metrów.

Overpressure in atmospheres	0	1	2	3	4	5	6
Average reflex time in milliseconds	213	271	259	263	272	301	339
StDev.	42	45	41	34	42	50	52

Na podstawie obliczeń wartości „t" z testu Studenta ustalono, że znamienne statystycznie różnice między średnimi czasu odruchu mięśniowo-wzrokowego oznaczonego na poszczególnych poziomach ciśnienia pod wodą występowały przy przejściu z ciśnienia powierzchniowego 1 atn/ (na poziomie istotności 1%), oraz przy zmianie ciśnienia z 4 na 5 atn (na poziomie istotności 5%), przy przejściu z 5 na 6 atn (na poziomie istotności 1%). Graficzny obraz średnich czasów odruchu wzrokowo-mięśniowego u 30 nurków w zależności od wzrostu ciśnienia podczas nurkowania przedstawiono na rycinie 1.

On the basis of calculations of the "t" value from the Student's test, it was found that statistically significant differences between the average time of the eye-muscle reflex determined at particular levels of underwater pressure occurred at the transition from surface pressure of 1 atm/ (at the significance level of 1%), and at the change of pressure from 4 to 5 atm (at the significance level of 5%), at the transition from 5 to 6 atm (at the significance level of 1%). A graphical representation of the average eye-muscle reflex times in 30 divers depending on the pressure increase during the dive is shown in Figure 1.

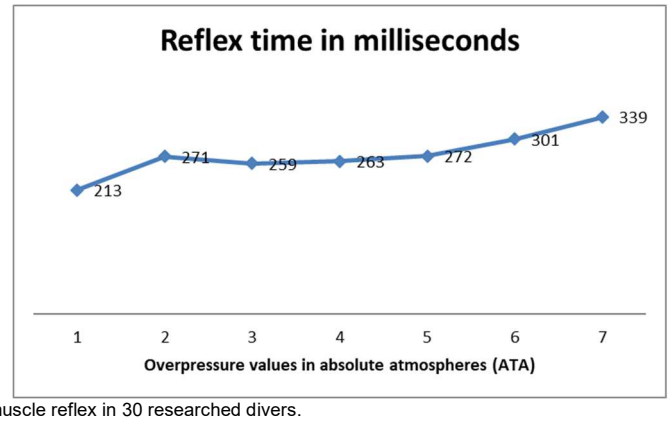


Fig. 1 The average time of the eye-muscle reflex in 30 researched divers.

Rys. 1 Średni czas odruchu wzrokowo – mięśniowego dla 30 badanych nurków.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Na nurka schodzącego pod wodę w sprzęcie klasycznym, oprócz specyficznego działania sprężonego powietrza wpływają i inne czynniki. Przede wszystkim należy tu wymienić wpływ nurkowania głębokiego na psychikę. Emocje przy nurkowaniu, których nie pozbywa się całkowicie nawet dobrze wytrenowany nurek, wpływają ujemnie na czynności drugiego układu sygnałów w myśl nauk Pawłowa. Nie pozostaje to bez wpływu na układ odruchów prostych, których zachowanie się może ulec zmianie. Na większych głębokościach od 5-6 atn obok emocji wpływa na ośrodkowy układ nerwowy również i sprężone powietrze. Jego narkotyczne działanie wiąże się zgodnie z poglądami takich autorów jak Dolatkowski, Davis, Haldane, Huszcza, Behnke, [1,2,4,6] z działaniem toksycznym rozpuszczonego, w ustroju azotu i zwiększeniem poziomu CO_2, oraz zaburzeniami w gospodarce tlenowej.

Jak wykazały nasze badania z poprzedniej pracy, sprężone powietrze wpływa również na wydłużenie się czasu odruchu prostego [3]. Obok tych czynników nie bez znaczenia są zimno, złe oświetlenie, zła widoczność, a na większych głębokościach całkowita ciemność, zmęczenie oraz zmiany mikroklimatu w obrębie skafandra podczas wentylacji [7]. Cały ten zespół czynników oddziaływujących na nurka podczas nurkowania głębokowodnego powoduje u niego zwolnienie procesów odruchowych. Wyniki badania czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego u nurków w ciśnieniu na poziomie morza nie odbiegały od podawanych przez innych autorów [8].

Średnia tego czasu mieściła się w granicach uzyskanych w części pierwszej tych badań i wynosi 213 msek. Przy schodzeniu pod wodę stwierdzono na poziomie ciśnienia 1 atn wydłużenie tego czasu, podobnie jak to zaobserwowano w warunkach modelowych w komorze ciśnieniowej. Dalszy przebieg obserwacji wykazał, iż po bardzo nieznacznym i nieznamiennym statystycznie skróceniu czasu odruchu wystąpiło ponowne, systematyczne wydłużenie. Wystąpiło ono od poziomu 4 atn.

Porównując wyniki badań uzyskanych w warunkach modelowych, z wynikami uzyskanymi w normalnym środowisku pracy nurka można stwierdzić, że czas odruchu wzrokowo-mięśniowego ulega znacznemu wydłużeniu, przy czym charakterystyka tego wydłużenia jest podobna do charakterystyki otrzymanej w warunkach modelowych w komorze ciśnieniowej, przede wszystkim do poziomu 1 atn. Następnie

DISCUSSION OF RESULTS

The diver descending underwater in classic dive equipment is influenced by various factors in addition to the specific effect of compressed air. First of all, it is important to mention the influence of deep diving on the psyche. Emotions during diving, which even a well-trained diver is not completely free of, negatively affect the activities of the second signal system in line with Pavlov's teachings. This is not without an impact on the system of simple reflexes, whose behaviour may change. At depths greater than 5-6 atm, apart from emotions, compressed air also affects the central nervous system. Its narcotic effect is associated, according to the opinions of such authors as Dolatkowski, Davis, Haldane, Huszcza, Behnke, [1,2,4,6] with toxic effects of nitrogen dissolved in the organism and increasing the level of CO_2, as well as disturbances in oxygen metabolism.

As our research from the previous work has shown, compressed air also influences the extension of the simple reflex time [3]. Apart from these factors, the cold, bad lighting, poor visibility and, at greater depths, total darkness, fatigue and microclimate changes within the suit during ventilation are not without significance [7]. This entire combination of factors affecting the diver during deep water diving slows down his or her reflex processes. The results of the study of the eye-muscle reflex time in divers at sea level pressure did not differ from those reported by other authors [8].

The mean of this time was within the limits obtained in the first part of these studies and amounted to 213 msec. When descending under water, the time was found to be increased at a pressure level of 1 atm, as was observed in the model conditions in the hyperbaric chamber. Further observations showed that after a very slight and statistically unchangeable shortening of the reflex time, systematic elongation recurred. It was observed from the level of 4 atm.

Comparing the results of tests obtained under model conditions with the results obtained in a normal diver's working environment, it can be concluded that the eye-muscle reflex time is significantly elongated, with the characteristics of this elongation similar to those obtained under model conditions in a hyperbaric chamber, primarily to 1 atm. Subsequently, the interaction of various factors occurring in the normal working environment of the diver (emotions, microclimate changes, fatigue, etc.) does not allow for the adaptation observed in model conditions, but causes further permanent elongation of the

współdziałanie różnych czynników występujących w normalnym środowisku pracy nurka (emocje, zmiany mikroklimatu, zmęczenie itp.) nie dopuszczają do wystąpienia obserwowalnej w warunkach modelowych adaptacji, lecz powodują dalsze stałe wydłużenie odruchu wzrokowo-mięśniowego [7]. Jednakże wydłużenie tego czasu jest szczególnie wyraźnie przy ciśnieniu 5 i 6 atn, gdzie do wyżej wspomnianych czynników dołącza się, jak to stwierdzono w doświadczeniu modelowym, narkotyczne działanie sprężonego powietrza (azotu) na ustrój. Spośród 30 obserwowanych nurków, kilku wykazało stosunkowo małe zmiany w czasie odruchu wzrokowo-mięśniowego. Należy przypuszczać, iż były to osoby szczególnie odporne na ujemny wpływ nurkowania głębokowodnego (narkozy azotowej) na ustrój, bądź wytrenowane.

Wydaje się, że dobór kandydatów do nurkowań głębokowodnych powinien uwzględnić tę cechę psycho-fizyczną. Kwalifikuje ona danego nurka do wykonywania szczególnie trudnych i odpowiedzialnych zadań.

WNIOSKI

1. Badanie czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego u nurków podczas nurkowań głębokowodnych, wykazało wydłużenie tego czasu.
2. Zaobserwowane zmiany w czasie odruchu wzrokowo-mięśniowego mogą świadczyć o zmniejszeniu wydolności psycho-fizycznej nurków pod wpływem różnych czynników ujemnych działających na nich podczas nurkowania głębokowodnego.
3. Istnieją osobnicy, u których nie stwierdzono większych zmian w czasie odruchu wzrokowo-mięśniowego podczas nurkowania głębokowodnego.
4. Badania właściwości psycho-fizycznych kandydatów do nurkowań głębokowodnych mogą pozwolić na dobór osobników najlepiej nadających się do wykonywania tego zawodu.
5. Badania czasu odruchu wzrokowo-mięśniowego w warunkach modelowych w komorze ciśnieniowej mogą być podstawą do wyciągnięcia wniosków praktycznych odnośnie właściwości psycho-fizycznych kandydatów na nurków głębokowodnych.

Praca referowana na Międzynarodowym Kongresie Oceanicznym, Moskwa 1966.

eye-muscle reflex [7]. However, the extension of this time is particularly pronounced at 5 and 6 atm, where the above-mentioned factors are accompanied, as stated in the model experiment, by the narcotic effect of compressed air (nitrogen) on the system. Of the 30 divers observed, several showed relatively small changes in the time of the eye-muscle reflex. It should be assumed that they were particularly resistant to the negative impact of deep-water diving (nitrogen narcosis) on the body, or well trained.

It seems that the selection of candidates for deep-water diving should take this psycho-physical characteristic into account. It qualifies a given diver to perform particularly difficult and responsible tasks.

CONCLUSION

1. The study of the eye-muscle reflex time in divers during deep-water dives showed an extension of this time.
2. The observed changes in the time of the eye-muscle reflex may indicate a decrease in the psycho-physical capacity of divers under the influence of various negative factors affecting them during deep-sea diving.
3. Some individuals were found to present no major changes in their eye-muscle reflexes during deep-water diving.
4. Testing of the psycho-physical properties of candidates for deep-water diving may allow for the selection of individuals best suited to the profession.
5. The examination of the eye-muscle reflex time under model conditions in the hyperbaric chamber can be the basis for drawing practical conclusions about the psycho-physical properties of candidates for deep-sea divers.

Paper presented at the International Oceanic Congress, Moscow 1966.

REFERENCES

1. A.R. Behnke – Decompression sickness following exposure to high pressure. Philadelphia, London 1951;
2. K. Davis – Deep diving, and submarine operations. London 1951;
3. K. Dęga, S. Klajman, H. Mokijewski – Instrument for measuring the eye-muscle reflex time. Rocznik Służby Zdrowia Mar. Woj. 1964;
4. Dolatkowski, J. Torbus, K. Dęga – The influence of Hyperbaria on the eye-muscle reflex period at divers. Biuletyn Inst.Med.Morsk. (in print);
5. B.S. Haldane – Life at high pressures. London 1947;
6. Huszcza – Atmospheric pressure and its effect on the body. Warsaw 1951;
7. S. Klonowicz – Military Hygiene 100/64 Zdr.;
8. J.P. Pawłow – Twenty years of research into higher nervous function in animals. Warsaw 1952.

SPRAWOZDANIE Z XXI KONFERENCJI NAUKOWEJ POLSKIEGO TOWARZYSTWA MEDYCYNY I TECHNIKI HIPERBARYCZNEJ

Doroczna, XXI Konferencja Naukowa PTMiTH odbyła się w dniach 21 – 24 listopada 2019 roku w Hotelu Astor w Jastrzębiej Górze.

Konferencja rozpoczęła się w czwartek panelem dyskusyjnym na temat: *„Medyczne wyposażenie komór dekompresyjnych – konieczność czy ekstrawagancja"*. Podczas burzliwej dyskusji środowiskowej podejmowano szereg aspektów związanych z eksploatacją, nadzorem nad eksploatacją oraz obsługą obiektów hiperbarycznych wykorzystywanych w pracach podwodnych i ośrodkach medycyny hiperbarycznej. Dyskusja wykazała szereg obszarów problemowych w powyższej tematyce. W rezultacie podczas Walnego Zgromadzenia Członków w dniu 23.11.2019 roku członkowie podjęli decyzję o konieczności powołania specjalnego zespołu do rozpracowania powyższych zagadnień, co w rezultacie przekształciło się w powołanie w ramach PTMiTH sekcji specjalistycznej ds. opracowania zagadnień związanych z wytycznymi dotyczącymi kwalifikacji osób odpowiedzialnych za eksploatację, nadzór nad eksploatacją i obsługę komór hiperbarycznych stosowanych w ośrodkach medycyny hiperbarycznej. Przewodniczącym sekcji został ***gen. bryg. rez. dr n. med. Piotr Dzięgielewski***.

Dyskusja panelowa w pierwszym dniu konferencji.

Inauguracja obrad konferencji, tradycyjnie poprzedzona wystąpieniem aktualnego Prezesa Zarządu PTMiTH ***dr n.med. Bartosza Morawca*** odbyła się w piątek 22 listopada. Podczas otwarcia obrad, członkowie Towarzystwa oraz uczestnicy konferencji uczcili minutą ciszy pamięć zmarłego w 2019 roku Członka Założyciela i pierwszego Członka Honorowego PTMiTH *śp. prof. Kazimierza Dęgi*. Następnie odbyło się doroczne wręczenie wyróżnień Towarzystwa. W roku 2019 Redakcja PHR zdecydowała się nie przyznawać nagrody za debiut naukowy w czasopiśmie. Natomiast Kapituła Stypendium Naukowego PTMiTH im. Antoniego Dębskiego ogłosiła wyniki konkursu o stypendium. W roku 2019 laureatką konkursu została ***mgr Karolina Gębka*** zgłoszona przez Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego Instytutu Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego. Ponadto podczas inauguracji dwóch członków PTMiTH zostało uhonorowanych przez Dyrektora Głównej Biblioteki Lekarskiej ***dr Wojciecha Giermaziaka*** tytułem *„Amici Bibliothecae Medicae Principalis"*. Gościnny wykład inauguracyjny wygłosiła *dr hab. Izabela Kępka* profesor Uniwersytetu Gdańskiego, którego temat brzmiał *„Mam rymę, kręci mi się w wątpiu, jakbych chciiał womitować. Nawet hiperbaria tlenowa nie pomoże! Zapożyczenia językowe – dziwią i irytują. Czy można bez nich żyć?"*.

Prezes Zarządu PTMiTH dr Bartosz Morawiec otwiera obrady XXI Konferencji Naukowej Towarzystwa.

Mgr Karolina Gębka odbiera czek na stypendium im. Antoniego Dębskiego.

dr hab. A. Olejnik i dr hab. P. Siermontowski otrzymują z rąk dr W. Giermaziaka tytuł *„Amici Bibliothecae Medicae Principalis.*

dr hab. Izabela Kępka prof. UG wygłasza wykład inauguracyjny XXI Konferencji Naukowej PTMiTH.

Pierwsza sesja referatowa XXI Konferencji PTMiTH była poświęcona pamięci ***kmdr prof. dr hab. med. Kazimierza Dęgi***, który 22 września 2019 roku w wieku 89 lat odszedł na wieczną wachtę. Podczas sesji przyjaciele, współpracownicy i uczniowie Pana Profesora wspominali jego życie prywatne, dorobek, drogę zawodową i osiągnięcia naukowe. Dla wszystkich obecnych było to bardzo wzruszające i pełne refleksji spotkanie z osobą prof. Dęgi[1]. Podczas sesji gościem honorowym konferencji była małżonka Profesora Pani Jadwiga Dęga.

prof. Romuald Olszański wspomina współpracę z prof. Kazimierzem Dęgą.

Druga sesja referatowa zorganizowana w dniu 22 listopada była poświęcona problematyce medycznej i technicznej, w jej trakcie swoje referaty wygłosili na przykład prof. Siergiej Gulyar z Ukraińskiej Akademii Nauk, prof. dr hab. n. med. dr h.c. mult. Aleksander Sieroń z Uniwersytetu Huministyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie oraz dr hab. inż. Ryszard Kłos prof. nadzwyczajny Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

prof. S. Gulyar z Ukraińskiej Akademii Nauk podczas wykładu.

Do końca konferencji w niedzielę 24 listopada odbyło się jeszcze siedem sesji referatowych, których tematyka była związana z medycyną podwodną, naukami o zdrowiu i kulturze fizycznej, inżynierią mechaniczną oraz technologią prac podwodnych i eksploatacją sprzętu nurkowego. Na koniec konferencji zorganizowano także warsztaty doskonalące dla członków PTMiTH.

W sobotę 23 listopada przed obradami konferencji odbyło się Walne Zgromadzenie członków Towarzystwa, które w tym roku miało charakter sprawozdawczo – wyborczy. Ustępujący Zarząd PTMiTH pod kierownictwem dr Bartosza Morawca dokonał podsumowania swojej kadencji oraz przedstawił sytuację prawną i finansową Towarzystwa. W kolejnej części zebrania członkowie wybrali nowy Zarząd PTMiTH na kadencję 2020 – 2023, którego prezesem został dr hab. inż. Adam Olejnik prof. AMW.

Sponsorami XXI Konferencji Naukowej PTMiTH byli:

Wojskowa Izba Lekarska

Kancelaria Adwokatów i Radców Prawnych Sowisło & Topolewski

Byli prezesi Zarządu PTMiTH w rozmowie kuluarowej ze sponsorem konferencji (od lewej: dr n. med. Maciej Konarski, dr n. med. Jarosław Krzyżak, dr hab. inż. Ryszard Kłos, mgr Paweł Sowisło).

Uczestnicy XXI Konferencji PTMiTH podczas obrad.

prof. Aleksander Sieroń podczas referatu.

Rozmowy uczestników konferencji podczas przerwy w obradach.

Karolina Gębka ukończyła studia I i II stopnia na kierunku Oceanografia na Uniwersytecie Gdańskim. Obecnie kończy także Środowiskowe Studia Doktoranckie w Instytucie Oceanografii UG. W ramach pracy doktorskiej zajmuje się badaniami nad uwarunkowowaniami meteorologiczno-hydrologicznymi dopływu labilnej rtęci do Zatoki Gdańskiej. Oprócz pracy naukowej Karolina Gębka zdobyła doświadczenie zawodowe w prywatnym akredytowanym laboratorium chemicznym jak również w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym, gdzie na stanowisku specjalisty zapoznała się z szeroką pojętą tematyką związaną z metodami monitowania środowiska morskiego. Ponadto w przeciągu ostatnich czterech lat Karolina była kierownikiem oraz wykonawcą czterech projektów naukowych. Obecnie współpracuje także z firmą zajmującą się szeroko pojętą tematyką związaną ze środowiskiem gruntowo-wodnym, gdzie między innymi jako specjalista ds. wód przejściowych i przybrzeżnych bierze udział w ogólnopolskim projekcie dotyczącym wpływu antropopresji na stan jednolitych części wód. Dotychczasowe doświadczenie przełożyło się na współautorstwo w ocenie stanu środowiska polskich obszarów morskich Bałtyku, w opracowaniu z zakresu oceny jakości wód powierzchniowych oraz w raportach dotyczących promieniowania jonizującego. Karolina Gębka jest także współautorem 11 anglojęzycznych publikacji naukowych związanych z wodami morskimi i rzecznymi. W 2019 roku w wyniku konkursu została laureatem stypendium naukowego Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej im. Antoniego Dębskiego.

Mgr Karolina GĘBKA, laureatka konkursu o stypendium naukowe PTMiTH im. A.Dębskiego 2019.

PTMiTH, Gdynia 2020 rok