

Nr 4 (77) 2021

ISSN 1734 -7009
e-ISSN 2084 - 0535

grudzień 2021 rok

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
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 Committee 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 Committee 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, e-mail: phr@phr.net.pl
Publisher: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society 81-103 Gdynia 3, ul. Grudzińskiego 4 box. 18, e-mail: phr@phr.net.pl

© Copyright by Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, Gdynia 2021

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 Cieślak 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 Lielvaris 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.,

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 „ponglis”.

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.

Szczegółowa instrukcja dla autorów znajduje się na stronie internetowej PolHypRes.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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**

2021 NUMBER 4(77)

List of content



EDITOR

S. Skrzyński, R. Olszański

Sergiy Gulyar: vital progress and contribution to the development of underwater physiology and medicine sciences..... p. 7

TECHNOLOGY

S. Metoyer, D. Bogucki

Underwater laser imaging..... p. 39

S. Skrzyński

Research on saturation diving in Poland and its implementation. Part I a. General characteristics of saturation diving research in our Poland. Pioneer times; 1967- 1985..... p. 53

MEDICINE

B. Nieradko-Iwanicka, D. Przybylska, P. Siermontowski, C. J. Kowalski, M. Wójciak-Czuła, A. Borzęcki

Possible applications of hyperbaric oxygen therapy- narrative review..... p. 73

R. Olszański, A. Borzęcki

An analysis of a case of decompression sickness in a diver..... p. 85

VARIA

J. Iwanicki, B. Nieradko-Iwanicka

Implementation of self-government tasks in the field of social and vocational rehabilitation of disabled people in the Lubelskie Voivodeship in 2008-2017..... p. 89

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2021 NUMER 4(77)

Spis treści



EDYTOR

S. Skrzyński, R. Olszański

Sergiy Gulyar: istotny postęp i wkład w rozwój fizjologii podwodnej i nauk medycznych..... p. 7

TECHNOLOGIA

S. Metoyer, D. Bogucki

Podwodne obrazowanie laserowe..... p. 39

S. Skrzyński

Badania nad nurkowaniem saturowanymi w Polsce i ich wdrażanie. Część I a. Ogólna charakterystyka badań nad nurkowaniem saturowanymi w naszym kraju. Czasy pionierskie; lata 1967- 1985..... p. 53

MEDYCYNĄ

**B. Nieradko-Iwanicka, D. Przybylska, P. Siermontowski, C. J. Kowalski,
M. Wójciak-Czuła, A. Borzęcki**

Przegląd możliwości terapeutycznych z zastosowaniem hiperbarycznej terapii tlenowej..... p. 73

R. Olszański, A. Borzęcki

Analiza przypadku choroby ciśnieniowej u nurka..... p. 85

VARIA

J. Iwanicki, B. Nieradko-Iwanicka

Realizacja zadań samorządu w zakresie rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych w województwie lubelskim w latach 2008 – 2017..... p. 89

SERGIY GULYAR: VITAL PROGRESS AND CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF UNDERWATER PHYSIOLOGY AND MEDICINE SCIENCES

SIERGIEJ GULIAR: DRÓGA ŻYCIA I WKŁAD W ROZWÓJ FIZJOLOGII PODWODNEJ I NAUK MEDYCZNYCH

Stanisław Skrzyński¹⁾, Romuald Olszański²⁾

¹⁾ Faculty of Mechanical and Electrical Faculty, Polish Naval Academy, Gdynia, Poland

¹⁾ Wydział Mechaniczny i Elektryczny Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni

²⁾ Maritime and Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine, Gdynia, Poland

²⁾ Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowego Instytutu Medycznego w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Here we present a unique life path of Sergiy Gulyar, a world-known Ukrainian scientist who was overcoming extreme conditions studying them on himself. He has developed his determination and responsibility from his basic experiences as a surgeon and his desire to win from his involvement in sports. His research in underwater laboratories has shown a capacity to find untrodden pathways to understand and explain what others did not even suspect. His physiological studies on the role of sea depths, breathing mixtures, underwater exposures, and diving schemes marked the path to the aquanauts and undersea man. Reaching the hyper depths equivalent to 2,500 m revealed the physiological limits of human being and defined how to handle hyperbaric respiratory failure. Prof. S. Gulyar suggested a usage of natural physiological mechanisms to accelerate the re-adaptation process as a part of the high-mountain rehabilitation of hyperbaria-adapted people. Dissertations were defended, books and articles were written, a scientific school of followers was created. Unfortunately, during the Soviet period, Prof. S. Gulyar faced a set of organizational problems and obstacles from the Soviet regime. In particular, his works were classified or hushed up, his intellectual property was often used without mentioning the author and his scientific team was intimidated by criminal investigations. Main recognition during this period had come from professional societies in Europe and the United States. After the collapse of the Union of Soviet Socialist Republics (USSR), Prof. S. Gulyar introduced a number of innovations and inventions in electromagnetic medicine and physiology. In particular, he has managed to account for main common features of physiological effects of light stimulation produced by Lasers, Light-Emitted Diodes and Biopton light sources. By doing so, some mystical dogmas were filtered out and new paths to sensible light-induced treatments were developed. At the same time, Prof. S. Gulyar has preserved the legacy of many generations of medical professionals who used light in their treatments. He has shown in his physiological experiments that stimulation of biologically active zones including acupuncture points light stimulation has a wide spectrum of biological effects including alleviation of pain symptoms. Now mono- and polychromatic visual and transcutaneous light therapy of pain has been recognized scientifically and clinically, and its place in medicine has been firmly established. Prof. S. Gulyar described a new functional system of the organism that regulates the electromagnetic equilibrium. A step into the future was the first experimentally grounded technology for the use of fullerene-modified light. Positive changes have been proven with its percutaneous and ocular use. These first results open the door to complete analysis and future investigations. Prof. S. Gulyar has published 20 monographs, 470 papers and abstracts, and received 11 patents. Many of his inventions have been implemented, the others are still awaiting implementation. This article is based on the data obtained by the authors during many years of their personal cooperation, as well as from the memoirs of Prof. S. Gulyar and the materials he provided.

Keywords: underwater medicine, compressed air works, Ichthyander and Chernomor underwater laboratories, pressure chambers, hyperbaria, nitrox, heliox, neonox, decompression, oxygen balance, adaptation, saturation diving, general high-pressure syndrome, Biopton, Medolight, polarized light therapy, fullerene, historical modeling, ancient Slavic boat, underwater archeology, Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, Bohaterow Westerplatte Polish Naval Academy, Zepter International Company.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 7 – 38

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0019

Pages: 32, figures: 9, tables: 0

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy
Rewiew article



Przedstawiamy wyjątkowe życie Sergieja Gulyara, znanego w kręgach światowych medycyny w tym medycyny podwodnej ukraińskiego naukowca. Pokonał ekstremalne warunki, zdobywając samodzielnie. Jego wykształcenie jako chirurga zaszczepiło w nim determinację i odpowiedzialność, natomiast sport zaszczepił w nim wolę zwycięstwa.

W pionierskich badaniach w podwodnych laboratoriach ujawniły jego zdolność do rozwiązywania problemów, by znaleźć i wyjaśnić to, z czego inni nawet nie zdawali sobie sprawy. Jego badania fizjologiczne nad rolą głębin morskich, z zastosowaniem mieszanin oddechowych, metod nurkowania utorały drogę akwanautom. Doświadczalne badania zjawisk oddechowych na hiper głębokości równej 2500 m rozszerzyło wiedzę na temat fizjologicznego ograniczenia człowieka i określiło sposoby pomocy przy hiperbarycznej niewydolności oddechowej. Prof. S. Gulyar zaproponował wykorzystanie naturalnych mechanizmów fizjologicznych do przyspieszenia procesu readaptacji osób zaadaptowanych do hiperbarii poprzez ich rehabilitację wysokogórską. Zdobywał stopnie naukowe, publikował książki i artykuły oraz założył szkołę naukową, w której znaleźli się jego zwolennicy. Niestety, w okresie sowieckim prof. S. Gular napotykał na szereg problemów organizacyjnych i przeszkód ze strony władz sowieckich. W szczególności jego prace były utajniane lub przemilczane, jego własność intelektualna była często wykorzystywana bez podania autora, a jego zespół badawczy był zastraszany przez dochodzenie kryminalne. Główne uznanie w tym okresie pochodziło od towarzyszów zawodowych w Europie i USA. Prof. S. Gulyar dokonał również szeregu innowacji i wynalazków z zakresu medycyny i fizjologii elektromagnetycznej. Jego wyniki i analizy otwierają drzwi do szczegółowych analiz i przyszłych badań. Opublikował 20 monografii, 470 referatów i rozpraw oraz uzyskał 11 patentów. Wiele z jego wynalazków zostało zrealizowanych, inne wciąż czekają na realizację.

Artykuł powstał na podstawie danych zebranych przez autorów w wyniku wieloletniej, osobistej współpracy, a także na podstawie wspomnień prof. S. Gulyara i przedstawionych przez niego materiałów. W aktywnym życiu brał udział w wielu wyprawach i pracach związanych z promowaniem kultury i historii Ukrainy.

Słowa kluczowe: medycyna podwodna, prace sprężonego powietrza, laboratoria podwodne Ichthyander i Chernomor, komory ciśnieniowe, hiperbaria, nitroks, helioks, neonox, dekompresja, bilans tlenowy, adaptacja, nurkowanie saturowane, zespół wysokiego ciśnienia ogólnego, Bioptron, Medolight, terapia światłem spolaryzowanym, fullerem, modelarstwo historyczne, starosławińska łódź, archeologia podwodna, Bohomolski Instytut Fizjologii NASU, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Zepter International Company.

Представлен уникальный жизненный путь Сергея Гуляра, украинского ученого с мировым именем, который преодолел экстремальные условия, изучая многие из них на себе. Базовый опыт хирурга воспитал в нем решительность и ответственность, спорт – волю к победе. Его исследования в подводных лабораториях выявили способность находить непроторенные пути, чтобы найти и объяснить то, о чем другие даже не подозревали. Его физиологические исследования роли морских глубин, дыхательных смесей, подводных экспозиций и схем погружения проложили путь к акванавтам и человеку подводному. Достижение гиперглубин, эквивалентных 2500 м, выявило физиологические пределы человека и определило пути помощи при гипербарической дыхательной недостаточности. Проф. С. Гуляр предложил использовать естественные физиологические механизмы для ускорения процесса readaptации адаптированных к гипербарии людей путем их высокогорной реабилитации. Были защищены диссертации, написаны книги и статьи, создана научная школа последователей. К сожалению, в советский период проф. С. Гуляр столкнулся с рядом организационных проблем и препятствий со стороны советской власти. В частности, его работы были засекречены или замалчивались, его интеллектуальная собственность часто использовалась без упоминания автора, а его научный коллектив запугивался уголовными расследованиями. Основное признание в этот период пришло от профессиональных обществ Европы и США. После распада СССР проф. С. Гуляр внес ряд новшеств и изобретений в электромагнитную медицину и физиологию. В частности, ему удалось объяснить и связать в единый комплекс знаний биомедицинские эффекты световой стимуляции, производимой ЛАЗЕРАми, БИОПТРОНАми и ЛЕДАми. Таким образом, некоторые мистические догмы были отфильтрованы, и были разработаны новые пути разумного лечения с помощью света. В то же время проф. С. Гуляр сохранил наследие многих поколений медицинских работников, использовавших в лечении свет. В своих физиологических опытах он показал, что стимуляция биологически активных зон, в том числе световая стимуляция точек акупунктуры, имеет широкий спектр биологических эффектов, в том числе и облегчение болевых симптомов. В настоящее время моно- и полихроматическая световая терапия боли получила научное и клиническое признание, и ее место в медицине прочно утвердилось. Проф. С. Гуляр описал новую функциональную систему организма, регулируемую электромагнитное равновесие. Шагом в будущее стала первая экспериментально обоснованная технология использования модифицированного фуллеренами света. Положительные изменения были доказаны при его чрез кожном и окулярном применении. Эти первые результаты открывают дверь к детальному анализу и будущим исследованиям. Проф. С. Гуляр опубликовал 20 монографий, 470 статей и тезисов, получил 11 патентов. Многие его изобретения реализованы, остальные еще ждут реализации. Настоящая статья основана на данных, полученных авторами в ходе многолетнего личного сотрудничества, а также на воспоминаниях проф. С. Гуляра и предоставленных им материалах.

Ключевые слова: Подводная медицина, работы на сжатом воздухе, подводные лаборатории Ихтиандр и Черномор, барокамеры, гипербария, нитрокс, гелиокс, неонкс, декомпрессия, кислородный баланс, адаптация, погружение с насыщением, общий синдром высокого давления, Биоптрон, Медолайт, терапия поляризованным светом, фуллерен, историческое моделирование, древнеславянская ладья, подводная археология, Институт физиологии им. Богомольца НАН Украины, Военно Морская Академия им. Героев Вестерплатте, Компания Цептер Интернациональ.

Wir stellen den außergewöhnlichen Lebensweg von Sergiy Gulyar dar, dem weltbekannten ukrainischen Wissenschaftler, der extreme Bedingungen überwunden hat, indem er sie an sich selbst getestet hat. Seine Entschlossenheit und sein Verantwortungsbewusstsein entwickelte er aus seiner Grunderfahrung als Chirurg heraus und seinem Siegeswillen durch sein Engagement im Sport. Seine Untersuchungen in Unterwasserlaboratorien zeigten seine Fähigkeit, unberührte Wege zu finden, um zu verstehen und zu erklären, was andere nicht einmal ahnten. Seine physiologischen Untersuchungen zur Rolle der Tiefsee, zu Atemmischungen, zum Agieren unter Wasser und zu Tauchmustern ebneten den Weg für Aquanauten und Menschen in der Meerestiefe. Im Erreichen von Tiefen von 2.500 m wurden die physiologischen Grenzen des Menschen aufgezeigt und der Umgang mit hyperbarem Atemversagen definiert. Prof. S. Gulyar schlug die Nutzung natürlicher physiologischer Mechanismen vor, um den Wiederanpassungsprozess im Rahmen der Reha-Maßnahmen für an Hochgebirge angepasste Menschen zu beschleunigen. Bei ihm wurden Dissertationen verteidigt, Bücher und Artikel entstanden und eine wissenschaftliche Schule von Anhängern wurde aus der Taufe gehoben. Leider sah sich Prof. S. Gulyar während der Sowjetzeit einer Reihe von organisatorischen Problemen und Hindernissen durch das sowjetische Regime ausgesetzt. Insbesondere wurden seine Arbeiten geheim gehalten oder verschwiegen, sein geistiges Eigentum wurde häufig ohne Nennung des Urhebers verwendet und sein wissenschaftliches Team wurde durch strafrechtliche Ermittlungen eingeschüchtert.

Die wichtigste Anerkennung in dieser Zeit kam von den Berufsverbänden in Europa und den Vereinigten Staaten. Nach dem Zusammenbruch der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR) führte Prof. S. Gulyar eine Reihe von Innovationen und Erfindungen auf dem Gebiet der elektromagnetischen Medizin und Physiologie ein. Insbesondere gelang es ihm, die wichtigsten gemeinsamen Merkmale der physiologischen Wirkungen der Lichtstimulation durch Laser, Leuchtdioden und Bioptron-Lichtquellen zu klären. Auf diese Weise konnten einige mystische Dogmen aussortiert und neue Wege für sinnvolle lichtinduzierte Therapien entwickelt werden. Gleichzeitig hat Prof. S. Gulyar das Erbe vieler Generationen von Ärzten bewahrt, die Licht bei ihren Behandlungen eingesetzt haben. In seinen physiologischen Experimenten konnte er nachweisen, dass die Stimulation biologischer aktiver Zonen, einschließlich der Lichtstimulation von Akupunkturpunkten, ein breites Spektrum an biologischen Wirkungen hat, einschließlich der Linderung von Schmerzsymptomen. Heute ist die mono- und polychromatische visuelle und transdermale Schmerztherapie wissenschaftlich und klinisch anerkannt und hat einen festen Platz in der Medizin gefunden. Prof. S. Gulyar beschrieb ein neues Funktionssystem des Körpers, das das elektromagnetische Gleichgewicht reguliert. Ein Schritt in die Zukunft war die erste experimentell erprobte Technologie für die Verwendung von mit Fullerenen modifiziertem Licht. Positive Veränderungen wurden bei transderraler Anwendung und bei Anwendung am Auge nachgewiesen. Diese ersten Ergebnisse öffnen die Tür zur Fulleren-Analyse und zur künftigen Forschung. Prof. S. Gulyar veröffentlichte 20 Monographien, 470 Artikel und Zusammenfassungen, hinzu kommen 11 Patente. Viele seiner Erfindungen wurden bereits umgesetzt, andere warten noch auf ihre Realisierung. Der Artikel stützt sich auf Daten, welche die Autoren in langjähriger persönlicher Zusammenarbeit gesammelt haben, sowie auf die Erinnerungen von Prof. S. Gulyar und von ihm zur Verfügung gestellte Materialien.

Schlüsselwörter: Unterwassermedizin, Druckluftarbeit, Unterwasserlabors Ichthyander und Tschernomor, Druckkammern, Hyperbarie, Nitrox, Heliox, Neonox, Dekompression, Sauerstoffhaushalt, Anpassung, Sättigungstauchen, allgemeines Hochdruck-Syndrom, Bioptron, Medolight, polarisierte Lichttherapie, Fulleren, historische Modellierung, altslawisches Boot, Unterwasserarchäologie, Bogomoletz-Institut für Physiologie NASU, Marineakademie Bohater Westerplatte, Bohaterów Westerplatte, Zepter International Company.

Presentamos la extraordinaria trayectoria vital de Sergij Gulyar, un científico ucraniano de fama mundial que superó condiciones extremas experimentándolas en su propio cuerpo. Desarrolló su determinación y responsabilidad a partir de sus experiencias básicas como cirujano y el deseo de victoria gracias a su implicación en el deporte. Sus estudios en laboratorios subacuáticos demostraron la capacidad para encontrar nuevas formas de comprender y explicar lo que otros ni siquiera sospechaban. Su estudios fisiológicos sobre el papel de las profundidades marinas, las mezclas respiratorias, las exposiciones subacuáticas y los esquemas de buceo mostraron el camino a acuanautas y buzos. El logro de una hiperprofundidad correspondiente a 2500 m reveló los límites fisiológicos del hombre y determinó la forma de tratar la insuficiencia respiratoria hiperbárica. El profesor S. Gulyar propuso emplear los mecanismos fisiológicos naturales para acelerar el proceso de readaptación en el marco de la rehabilitación de alta montaña de personas adaptadas a la hiperbaria. Se han defendido tesis doctorales, escrito libros y artículos, se ha creado una escuela científica de partidarios. Por desgracia, en la época soviética el profesor S. Gulyar se encontró con una serie de problemas organizativos y obstáculos de parte del régimen soviético. En particular, sus trabajos eran secretos o se silenciaban, a menudo se utilizó su propiedad intelectual sin mencionar al autor y a su equipo científico se le atemorizaba con investigaciones criminales.

El principal reconocimiento en este periodo procedía de colegios profesionales en Europa y los Estados Unidos. Tras la disolución de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) el profesor S. Gulyar introdujo una serie de innovaciones y descubrimientos del ámbito de la medicina electromagnética y la fisiología. En particular fue capaz de aclarar las principales características comunes de los efectos fisiológicos de la estimulación con luz generada por láseres, diodos electroluminiscentes y fuentes de luz Bioptron. De esta forma se filtraron determinados dogmas místicos y se elaboraron nuevos caminos para terapias sensoriales inducidas por la luz. Al mismo tiempo, el profesor S. Gulyar preservó la herencia de muchas generaciones de médicos que emplearon la luz en sus tratamientos. En sus experimentos fisiológicos demostró que la estimulación de zonas biológicamente activas, incluyendo la estimulación con luz de los puntos de acupuntura, tenía un amplio espectro de efectos biológicos, incluyendo el alivio del dolor. Actualmente la terapia visual y transdérmica del dolor, tanto monocromática como policromática, ha sido reconocida tanto científica como clínicamente y su posición en la medicina ha sido sólidamente fundamentada. El profesor S. Gulyar describió un nuevo sistema funcional del organismo que regula el equilibrio electromagnético. Un paso hacia el futuro fue la primera tecnología experimentalmente fundamentada de empleo de la luz modificada mediante fulerenos. Se demostraron cambios positivos tras su empleo transdérmico y en el ojo. Estos primeros resultados abren las puertas para un análisis más completo y futuros estudios. El profesor S. Gulyar publicó 20 monografías, 470 artículos y resúmenes y consiguió 11 patentes. Muchos de sus descubrimientos han sido implantados, otros siguen esperando su puesta en práctica. El artículo se basa en datos obtenidos por los autores durante una colaboración personal de muchos años, así como en las memorias del profesor S. Gulyar y los materiales suministrados por este.

Palabras clave: Medicina subacuática, trabajos de aire comprimido, laboratorios subacuáticos Ichthyander y Chernomor, cámaras de presión, hiperbaria, nitrox, heliox, neonox, descompresión, balance de oxígeno, adaptación, buceo de saturación, conjunto de alta presión general, Bioptron, Medolight, terapia con luz polarizada, fullereno, modelado histórico, embarcación eslava antigua, arqueología subacuática, Instituto de Fisiología Bogolomets NASU, Academia de la Marina de Guerra Héroes de Westerplatte, Zepter International Company.

LIFE'S MILESTONES

In 2022, Prof. Sergiy Gulyar, MD, PhD, DSc celebrates his 80th birthday. He is a leading researcher at the Bogomoletz Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU). Dr. S. Gulyar made significant scientific contributions to the human physiology in extreme conditions, hyperbaric medicine, and the development of light therapy technologies. His works are recognized by scientists worldwide [1-7].

Sergiy Gulyar was born on November 4, 1942 in the Donbass (Ukraine), studied medicine at the Donetsk Medical University and graduated with honors in 1965. While studying at the Medical Institute, Dr. S. Gulyar was fond of motorcycling and scuba diving and achieved serious success. Over time, Dr. S. Gulyar became a professional diver. Motocross and motorcycle tourism were a school of extreme risk for him; such an experience gained in overcoming extreme loads will allow him to survive in various life situations. Dr. S. Gulyar still remembers the motorcycle assault on the Elbrus glaciers in 1963 as a one of the riskiest challenges.

At the senior courses of the University, he had worked for 3 years as an urgent surgical nurse in Donetsk' hospitals. After graduating from the University, Dr. S. Gulyar started his medical carrier as a surgeon—abdominal surgery, traumatology, anesthesiology—at the hospital in Toretsk, Donetsk region. At the same time, he taught surgery and physiology at a medical college (1965-68). Later, Dr. S. Gulyar taught at the Donetsk State University at the Department of Medical Training of Students for Peace and Wartime (1968-1973).

The Donetsk region of those years for the surgeon was the scene of a daily struggle for the life of miners, who often received severe injuries in mines that had not changed much since the beginning of the last century. Many other industrial enterprises of Donbass turned out to be traumatic as well. Working as a surgeon taught Dr. S. Gulyar to react quickly and make the right decisions under time pressure.

THE FIRST STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

In parallel with practical surgery, Dr. S. Gulyar began to engage in scientific work. Personal sport achievements and professional success in diving prompted him to research in the field of underwater physiology, which he started in the late 60s of the twentieth century. Under the conditions of saturation stay of aquanauts in the underwater laboratories, new data were obtained in the field of adaptation of the human body to deep-sea conditions. Underwater laboratories Ichthyander-66-68 were the first experimental underwater facilities in the USSR and entered the top ten world laboratories of this type [8-14]. They made it possible for a person to stay for many days at depths of up to 12 m with full saturation of tissues with nitrogen. An outstanding result of these studies was the proof of the phase pattern of adaptation to hyperbaria, which made it possible to scientifically prove the possibility of a person being under water for many days [15-17]. It should be noted that Dr. S. Gulyar performed part of the research on himself, being an aquanaut of the underwater laboratory Ichthyander-67 (Fig. 1).

ВЕХИ ЖИЗНИ

В 2022 году исполняется 80 лет со дня рождения профессора Сергея Гуляра. Ведущий научный сотрудник Института физиологии им. Богомольца НАН Украины доктор медицинских наук С. Гуляр внес значительный научный вклад в физиологию человека, находящегося в экстремальных условиях, гипербарическую медицину и развитие технологий светотерапии. Его работы признаны учеными всего мира [1-7].

Сергей Гуляр родился 4 ноября 1942 г. на Донбассе (Украина), изучал медицину в Донецком медицинском институте, который окончил с отличием в 1965 г. В студенческие годы С. Гуляр увлекался мотоспортом и подводным плаванием, добился серьезных успехов. Со временем д-р С. Гуляр стал профессиональным водолазом. Мотокросс и мототуризм были для него школой экстремального риска; такой опыт преодоления экстремальных нагрузок позволил ему выжить в различных жизненных ситуациях. Д-р С. Гуляр до сих пор вспоминает мотоциклетный штурм ледников Эльбруса в 1963 году как одно из самых рискованных испытаний.

Обучаясь на старших курсах С. Гуляр проработал 3 года хирургической сестрой скорой помощи в больницах Донецка. После окончания института д-р С. Гуляр начал свою медицинскую карьеру хирургом – абдоминальная хирургия, травматология, анестезиология – в г. Торецке Донецкой области. Одновременно он преподавал хирургию и физиологию в медицинском колледже (1965-68). Позже д-р С. Гуляр преподавал в Донецком государственном университете на кафедре медицинской подготовки студентов для мирного и военного времени (1968-1973 гг.).

Донецкая область тех лет для хирурга была ареной ежедневной борьбы за жизнь горняков, часто получавших тяжелые травмы в шахтах, мало изменившихся с начала прошлого века. Аналогичное можно сказать и о рабочих различных промышленных сфер Донбасса. Работа хирургом научила д-ра С. Гуляра быстро реагировать и принимать правильные решения в условиях цейтнота.

ПЕРВЫЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Параллельно с практической хирургией д-р С. Гуляр начал заниматься научной работой. Личные спортивные достижения и профессиональные успехи в подводном плавании побудили его к исследованиям в области подводной физиологии, которые он начал в конце 60-х годов XX века. В условиях насыщенного пребывания акванавтов в подводных лабораториях получены новые данные в области адаптации организма человека к глубоководным условиям. Подводные лаборатории «Ихтиандр-66-68» были первыми экспериментальными подводными установками в СССР и вошли в десятку лучших мировых лабораторий такого типа [8-14]. Они давали возможность человеку много дней находиться на глубине до 12 м при полном насыщении тканей

The obtained data became the basis for the development of methods for optimizing the regimes of a long stay of a person under water (1966-67). These were high-risk jobs. The episode of the struggle for the survival of the underwater laboratory Ichthyander-67 during its emergency flooding is noteworthy. Dr. S. Gulyar, realizing the threat of decompression sickness, continued to stay on watch, provided communication under water and with ground services, evacuated aquanauts, which eventually made it possible to save both the underwater laboratory and the entire expensive experiment.

In the experiments carried out in the underwater laboratories Ichthyander and in the climatic pressure chamber of the Institute of Mine Rescue Affairs of the USSR, original studies of the functioning of the cardio-respiratory system and a human higher nervous activity in hyperoxic conditions and under water were also developed and carried out. At the same time, the first underwater observations of the individual and group psychology of aquanauts were also performed.

азотом. Выдающимся результатом этих исследований явилось доказательство фазового характера адаптации к гипербарии, что позволило научно обосновать возможность нахождения человека под водой в течение многих суток [15-17]. Следует отметить, что часть исследований д-р С. Гуляр выполнил на себе, будучи акванавтом подводной лаборатории «Ихтиандр-67» (рис. 1).

Полученные данные стали основой для разработки методов оптимизации режимов длительного пребывания человека под водой (1966-67). Это были работы повышенной опасности. Примечателен эпизод борьбы за выживание подводной лаборатории «Ихтиандр-67» во время ее аварийного затопления. Д-р С. Гуляр, осознавая угрозу декомпрессионной болезни, продолжал нести вахту, обеспечивал связь под водой и с наземными службами, эвакуировал акванавтов, что в итоге позволило спасти и подводную лабораторию, и весь дорогостоящий эксперимент.

В экспериментах, проведенных в подводных лабораториях «Ихтиандр» и в климатической барокамере Института горноспасательных дел СССР, были также разработаны и осуществлены оригинальные исследования функционирования сердечно-сосудистой системы и высшей нервной деятельности человека в гипероксических условиях и под водой. В это же время были проведены и первые подводные наблюдения за индивидуальной и групповой психологией акванавтов.

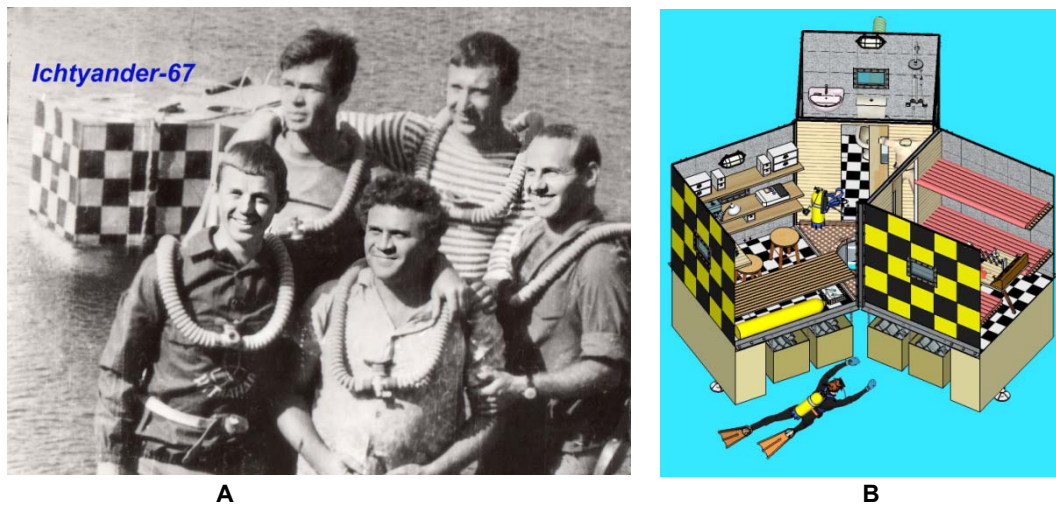


Fig. 1 Dr. S. Gulyar (left in the front row) as part of the first crew of the underwater laboratory Ichthyander-67 (A), which is shown in section in Diagram (B) (1967): (A) 5-seat habitable underwater structure, consisting of 3 compartments with an entrance vestibule, designed for work of aquanauts at depths up to 40 m without access to the surface, with full saturation of organism tissues with compressed air components. The underwater laboratory was installed in August 1967 on the shelf of the Black Sea in Ukraine (Crimea, Laspi Bay) at a depth of 14 m. The exposure of each of the 2 crews under hyperbaria was 7 days, decompression: up to 6 h.

Рис. 1 Д-р С. Гуляр (слева в первом ряду) в составе первого экипажа подводной лаборатории «Ихтиандр-67» (а), которая показана в разрезе на схеме (б) (1967): (б) 5-местное обитаемое подводное сооружение, состоящее из 3-х отсеков с входным тамбуром, предназначенное для работы акванавтов на глубинах до 40 м без выхода на поверхность, при полном насыщении тканей организма компонентами сжатого воздуха. Подводная лаборатория была установлена в августе 1967 года на шельфе Черного моря в Украине (Крым, бухта Ласпи) на глубине 14 м. Экспозиция каждого из 2-х экипажей в условиях гипербарии составила 7 сут, декомпрессия – до 6 ч.

In the early 70s, in some experiments, the longest 36-hour-autonomous stay of a person in a special pressure suit with individual life support systems was achieved ("personal underwater home") [18,19]. At that time, Dr. S. Gulyar and colleagues carried out multi-day studies of thermoregulation and diet optimization under extreme conditions of survival after sea accidents [20-23]. These studies answered many questions about human physiology in extreme conditions, and the technology itself still has no analogues. In 1969-1970, the first database of physiological data of aquanauts wearing various types of protective equipment while performing underwater geological and drilling operations was created.

During these years, under the conditions of the totalitarian regime of the USSR, underwater research, which was carried out by teams of non-military organizations, was artificially hampered by the naval departments, which did not have the necessary intellectual resources. In the future, the scientific direction associated with underwater physiology was completely classified. Scientists were forbidden to publish their data, which caused heavy damage to research teams and the country.

In 1971 Dr. S. Gulyar defended his PhD thesis "Functional Shifts in the Human Organism when Staying in Underwater Laboratories at Shallow Depths", which was prepared on the basis of data obtained in the underwater laboratories Ichthyander [24]. This work, for the first time in the world, was devoted to the study of the physiology of a human who is under water for a long time in compressed air with the tissues completely saturated with nitrogen.

THE SECOND STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

Further scientific research by Dr. S. Gulyar for many years was carried out at the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU. In 1973, he was recruited by competition to the position of junior and then senior researcher at the Laboratory of Applied Problems (headed by Prof. A. Z. Kolchinskaya). All these years, Dr. S. Gulyar has been focused on studying the physiological mechanisms of adaptation of the human organism to extreme environmental conditions: underwater, sea, hyperbaric and hypobaric, high-mountain, arctic, antarctic, as well as to conditions of radiation and chemical pollution. He continued to personally take part in hyperbaric experiments to obtain physiological data at higher pressures and various compositions of gas mixtures. In particular, the physiological parameters of aquanauts were studied in the Chernomor underwater laboratories (nitrox and depths up to 30 m), in hyperbaric complexes at depths of 40-450 m (nitrox, heliox, neonox) and in real sea conditions (up to 300 m, heliox) [25-29].

THE THIRD STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

Sergiy Gulyar became head of the Laboratory and then head of the Department of Underwater Physiology at the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU in 1980. The main objective of Dr. S. Gulyar research

В начале 70-х годов в ряде экспериментов было достигнуто самое продолжительное 36-часовое автономное пребывание человека в специальном скафандре с индивидуальными системами жизнеобеспечения («персональный подводный дом») [18, 19]. В то время д-р С. Гуляр с коллегами проводили многодневные исследования терморегуляции и оптимизации рациона питания в экстремальных условиях выживания после морских аварий [20-23]. Эти исследования ответили на многие вопросы о физиологии человека в экстремальных условиях, а сама технология до сих пор не имеет аналогов. В 1969-1970 годах была создана первая база физиологических данных акванавтов в различных средствах защиты при выполнении подводных геологических и буровых работ.

В эти годы в условиях тоталитарного режима СССР подводные исследования, которые проводились коллективами невоенных организаций, искусственно тормозились военно-морскими ведомствами, не имевшими необходимых интеллектуальных ресурсов. В дальнейшем научное направление, связанное с подводной физиологией, было полностью засекречено. Ученым запретили публиковать свои данные, что нанесло тяжелый ущерб исследовательским коллективам и стране.

В 1971 г. доктор С. Гуляр защитил кандидатскую диссертацию «Функциональные сдвиги в организме человека при пребывании в подводных лабораториях на малых глубинах», подготовленную на основе данных, полученных в подводных лабораториях «Ихтиандр» [24]. Эта была первая в мире работа, посвященная изучению физиологии человека, находящегося длительное время под водой в сжатом воздухе с полностью насыщенными азотом тканями.

ВТОРОЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Дальнейшие научные исследования д-ра С. Гуляра в течение многих лет и до настоящего времени проводились в Институте физиологии им. Богомольца НАН Украины. В 1973 г. он был принят по конкурсу на должность младшего, а затем старшего научного сотрудника Лаборатории прикладных проблем (зав.- проф. А. З. Колчинская). Все эти годы д-р С. Гуляр был сосредоточен на изучении физиологических механизмов адаптации организма человека к экстремальным условиям окружающей среды: подводным, морским, гипербарическим и гипобарическим, высокогорным, арктическим, антарктическим, а также к условиям радиационного и химического загрязнения. Он продолжал лично принимать участие в гипербарических опытах для получения физиологических данных при более высоких давлениях и различных составах газовых смесей. В частности, физиологические параметры акванавтов изучались в подводных лабораториях Черномор (нитрокс на глубинах до 30 м), в барокомплексах на глубинах 40-450 м (нитрокс, гелиокс, неонокс) и в реальных морских условиях (до 300 м, гелиокс) [25-29].

was to identify mechanisms of the relationship between an organism and the altered gaseous environment in hyperbaria. During these years, it was proven that the human organism could adapt to a long stay in a nitrogen-oxygen environment at depths of up to 40 m. At the same time, the features of the reactions to respiration, blood circulation, blood and the physiological costs of the aquanaut's adaptation to various hyperbaria factors were revealed: barometric pressure, density and gas composition. Decompression studies performed at a depth of 10-100 m yield remarkable data (1971-1972). In four series of multi-day exposures at full saturation using compressed air at depths of 10-20-30 and 40 m (zero horizons), aquanauts dived to a depth of up to 100 m. The ability to dive "from new zero" in standard decompression modes has been proven by Dr. S. Gulyar and colleagues. In combination with saturation diving technology, the results of the study had a significant impact on no-decompression stays of up to 100 m at depths of 10-40 m. At the same time, the limit of using compressed air (hypernitroemia + hyperoxia) for such dives was reached. On the 17th day of exposure at a depth of 40 m, one of the aquanauts developed acute nitrogen psychosis according to Dr. S. Gulyar's opinion due to nitrogen narcosis. This required a decompression emergency which luckily was successful [28,29].

In the 1980s, Dr. S. Gulyar took part in the State Program for Research on Dolphin Breathing. In unique experiments, Dr. S. Gulyar was the first in the world to carry out a series of "dives" to a depth of 30 m in a pressure chamber together with a dolphin. Then scientists in this field were interested in the question of whether a dolphin can breathe at elevated pressure—after all, it has an evolutionarily developed mechanism for automatic blockade of the respiratory valve. In this experiment, there was a danger to the life of the experimenter. However, the experiment was successfully carried out; unique data on the oxygen regime of the dolphin's body were obtained. The possibility of breathing at elevated pressure has been proven. This opened up the prospect of creating dolphins-aquanauts. Unfortunately, due to the secrecy regime, these data were not published. The same fate befell the unique experimental proof of the possibility of non-decompression ascent of animals from a depth of 100 m against the background of the use of enterosorption drugs.

Economics always poses certain tasks for researchers. So, the development of the continental shelf in the 70-80s significantly was hampered by the unresolved physiological problems of deep-sea diving. One of the important tasks was to solve the problem of optimizing the gas environment and its physiological safety for humans. To solve this problem, Dr. S. Gulyar developed a methodology for studying the respiratory, hemodynamic and biochemical mechanisms of regulation of the transport of respiratory gases in the body under the influence of high pressure artificial atmosphere from different proportions of oxygen, nitrogen, helium and neon. For the first time in the world practice of diving, the oxygen regimes of the organism of aquanauts were characterized [30-33].

With colleagues from his department, Dr. S. Gulyar studied the effect of various muscle loads in water on the organism (Fig. 2). This made it possible to get direct data and describe the pathogenesis of the integral syndrome of high pressure associated with a violation of the transfer of respiratory gases during hyperbaria (at

ТРЕТИЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В 1980 году д-р. С. Гуляр стал заведующим лабораторией, а затем заведующим отделом подводной физиологии Института физиологии им. Богомольца НАНУ. Акцентировалось изучение взаимосвязи организма и измененной газовой среды при гипербарии. В эти годы было доказано, что организм человека может адаптироваться к длительному пребыванию в новом диапазоне азотно-кислородных смесей на глубинах до 40 м. При этом выявлены особенности реакций дыхания, кровообращения, крови, кислородного режима организма и физиологические особенности адаптации акванавтов к различным факторам гипербарии: барометрическому давлению, плотности и газовому составу. Принципиально новые результаты были получены при декомпрессионных исследованиях, проведенных на глубинах 10-100 м (1971—1972 гг.). В четырех сериях многодневных экспозиций при полном насыщении сжатым воздухом на глубинах 10-20-30 и 40 м (нулевые горизонты) акванавты погружались на разные ступени глубин до 100 м. Д-ром С. Гуляром и его коллегами была доказана возможность погружаться «с нового нуля» при стандартных декомпрессионных режимах доказана. В сочетании с технологией погружения с насыщением результаты исследования оказали существенное влияние на бездекомпрессионное пребывание до 100 м при старте с глубин 10-40 м. При этом был достигнут предел использования сжатого воздуха, обусловленный синергизмом гипернитроемии и гипероксии для таких погружений. При экспозиции на глубине 40 метров на 17-й день у одного из акванавтов развился острый азотный психоз, по заключению д-ра С. Гуляра, на фоне азотного наркоза. Это потребовало экстренной декомпрессии, которая, к счастью, оказалась успешной [28,29].

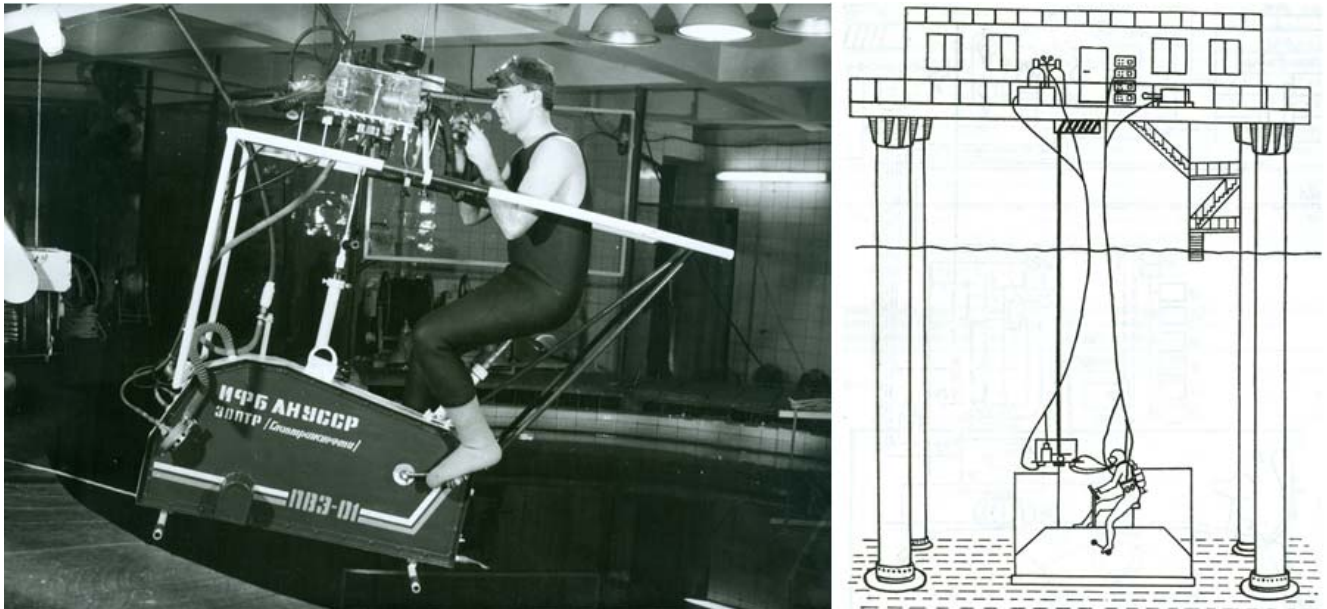
В 1980-х годах д-р С. Гуляр принимал участие в Государственной программе исследований дыхания дельфинов. В уникальных экспериментах д-р С. Гуляр впервые в мире осуществил серию «погружений» на глубину 30 м в барокамере вместе с дельфином. Тогда ученых в этой области заинтересовал вопрос, может ли дельфин дышать при повышенном давлении — ведь у него есть эволюционно выработанный механизм автоматической блокады дыхательного клапана. В этом эксперименте существовала опасность для жизни экспериментатора. Однако эксперименты были успешно проведены: получены уникальные данные о кислородном режиме организма дельфинов. Доказана возможность их дыхания при повышенном давлении. Это открыло перспективу создания дельфинов-акванавтов. К сожалению, из-за режима секретности эти данные не были опубликованы. Та же участь постигла уникальное экспериментальное доказательство возможности бездекомпрессионного всплытия животных с глубины 100 м на фоне применения энтеросорбционных препаратов.

Экономика всегда ставит перед исследователями определенные задачи. Так, освоению континентального шельфа в 70-80-е годы существенно мешали нерешенные физиологические

rest and during work in water). Scientists have studied in detail its constituent components: nervous, respiratory, circulation, exchange, compression and post-decompression. This became the basis for the development of therapeutic and preventive measures to preserve the health and working capacity of aqanauts, improve the efficiency and safety of their work at all depths accessible to a person in diving equipment [19,20,22,34-36].

проблемы глубоководного водолазного дела. Одной из важных задач было решение проблемы оптимизации газовой среды и ее физиологической безопасности для человека. Для решения этой проблемы д-р С. Гуляр разработал методику изучения дыхательных, гемодинамических и биохимических механизмов регуляции транспорта дыхательных газов в организме под воздействием искусственной атмосферы высокого давления, состоящей из различных пропорций кислорода, азота, гелия и неона. Это позволило получить прямые данные и охарактеризовать кислородные режимы организма акванавтов, что было впервые в мировой практике водолазного дела [30-33].

Вместе с коллегами своего отдела д-р С. Гуляр внес вклад в изучение влияния различных мышечных нагрузок в воде на организм акванавтов (рис. 2). Это позволило получить прямые данные и описать патогенез интегрального синдрома повышенного давления, связанного с нарушением переноса дыхательных газов при гипербарии (в покое и при работе в воде). Ученые детально изучили составляющие его компоненты: нервную, дыхательную, циркуляционную, обменную, компрессионную и постдекомпрессионную. Это стало основанием для разработки лечебно-профилактических мероприятий по сохранению здоровья и работоспособности акванавтов, повышению эффективности и безопасности их работы на всех доступных человеку глубинах в водолажном снаряжении [19,20,22,34-36].



A

B

Fig. 2 Experimental complex for underwater bicycle ergometry before the start of research in the deep-sea basin (A, diver V. Mikhailusenko) and scheme of the experiment in real conditions (B) (1988).

Рис. 2 Экспериментальный комплекс для подводной велоэргометрии перед началом исследований в глубоководном бассейне (А, дайвер В. Михайлушенко) и схема эксперимента в реальных условиях (В) (1988).

In 1983 Dr. S. Gulyar defended his doctoral dissertation "Respiratory and Hemodynamic Mechanisms of Regulation of the Oxygen Regimes of the Human Organism under Hyperbaria" [37]. Under his scientific supervision, 5 PhD and 4 doctoral dissertations were defended (Fig. 3). In 1993, Dr. S. Gulyar was awarded the academic title of Professor in the specialty "Human and Animal Physiology".

Further studies showed the role of hyperbaric factors—increased compression ratio, hyperoxia, high partial pressure in respiratory mixtures of nitrogen, helium, and neon—in the development of functional changes in respiration, blood circulation, and oxygen regime in deep-sea divers. Contrary to the traditional approach, which postulated the need to use an increased oxygen content in respiratory gas mixtures, which dominated the world practice of deep-sea work and led to the development of "oxygen" pathology, Prof. S. Gulyar proved the absence of arterial hypoxemia in normoxia high-density respiratory environment. Using the data of the dynamic analysis of the oxygen regimes of the organism, he developed and applied a new effective method for the biological correction of the partial pressure of oxygen in residential hyperbaric underwater structures [38, 39]. As a result, new modes of operation of the life support systems of hyperbaric structures were substantiated and eventually introduced into official practice.

В 1983 г. д-р С. Гуляр защитил докторскую диссертацию «Респираторные и гемодинамические механизмы регуляции кислородных режимов организма человека в условиях гипербарии» [37]. Под его научным руководством защищено 5 кандидатских и 4 докторских диссертации (рис. 3). В 1993 г. д-ру С. Гуляру было присвоено ученое звание профессора по специальности «Физиология человека и животных».

Дальнейшие исследования показали роль ведущих факторов гипербарии — повышенной скорости компрессии, гипероксии, высокого парциального давления в дыхательных смесях азота, гелия и неона — в развитии функциональных изменений дыхания, кровообращения и кислородного режима у глубоководников. Вопреки традиционному подходу, постулировавшему необходимость использования повышенного содержания кислорода в дыхательных газовых смесях, господствовавшему в мировой практике глубоководных работ и приводившему к развитию «кислородной» патологии, проф. С. Гуляр доказал отсутствие артериальной гипоксемии при нормоксии в дыхательной среде повышенной плотности. Используя данные динамического анализа кислородного режима организма, он разработал и применил новый эффективный метод биологической коррекции парциального давления кислорода в жилых гипербарических подводных сооружениях [38,39]. В результате были обоснованы и внедрены в официальную практику новые режимы работы систем жизнеобеспечения гипербарических сооружений.



Fig. 3 Department of Underwater Physiology, Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine (Head: Prof. S. Gulyar, in the center of the first row) (1989).

Рис. 3 Отдел подводной физиологии Института физиологии имени Богомольца НАН Украины (заведующий проф. С. Гуляр, в центре первого ряда) (1989).

Based on the data obtained in model (pressure chamber “depths” up to 450 m) and real (up to 300 m, shelf of the Barents Sea) diving, Prof. S. Gulyar and his colleagues developed an expert system for calculating the maximum human energy consumption during underwater work as well as a methodology for ergonomic evaluation of new underwater technologies [40,41].

The development of original methodological methods for recording breathing parameters made it possible for Prof. S. Gulyar to perform in the mid-80s unique studies of human breathing in a hyperbaric neonox medium at depths equivalent to 250 m in heliox, at an extreme 32-fold density (Fig. 4). International complex experiment was conducted by scientists from the Southern Branch of the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, the Bogomolets Institute of Physiology of NASU, the Central Laboratory for Brain Studies of the Bulgarian Academy of Sciences, and the Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences. In this experiment, a previously unknown respiratory syndrome was identified and described, which occurs with high resistance to breathing, the leading phenomenon of which is oscillations of respiratory flows in the bronchi. A new mechanism that allows the movement of superdense gas in the respiratory tract is the appearance of the second exponent of the respiratory flow velocities in the bronchi of medium and small caliber [42-45].

На основе данных, полученных в модельных («глубинах» барокамеры до 450 м) и реальных (до 300 м, шельф Баренцева моря) водолазных работах, проф. С. Гулярь и его коллеги разработали экспертную систему для расчета максимальных энергозатрат человека при подводных работах, а также методику эргономической оценки новых подводных технологий [40,41].

Разработка оригинальных методических приемов регистрации параметров дыхания позволила проф. С. Гуляру в середине 80-х годов провести уникальные исследования дыхания человека в гипербарической неоновой среде на глубинах, эквивалентных 250 м по гелиоксу, при предельной 32-кратной плотности (рис. 4). Интернациональный комплексный эксперимент был проведен учеными из Южного отделения Института океанологии им. Ширшова РАН, Института физиологии им. Богомольца НАН Украины, Центральной лаборатории исследований мозга АН Болгарии и Института медико-биологических проблем РАН. В этом эксперименте был выявлен и описан ранее неизвестный респираторный синдром, возникающий при высоком сопротивлении дыханию, ведущим феноменом которого являются осцилляции дыхательных потоков в бронхах. Новым механизмом, позволяющим продвижение сверхплотного газа в дыхательных путях, является появление второй экспоненты скоростей дыхательных потоков в бронхах среднего и мелкого калибров [42-45].



A

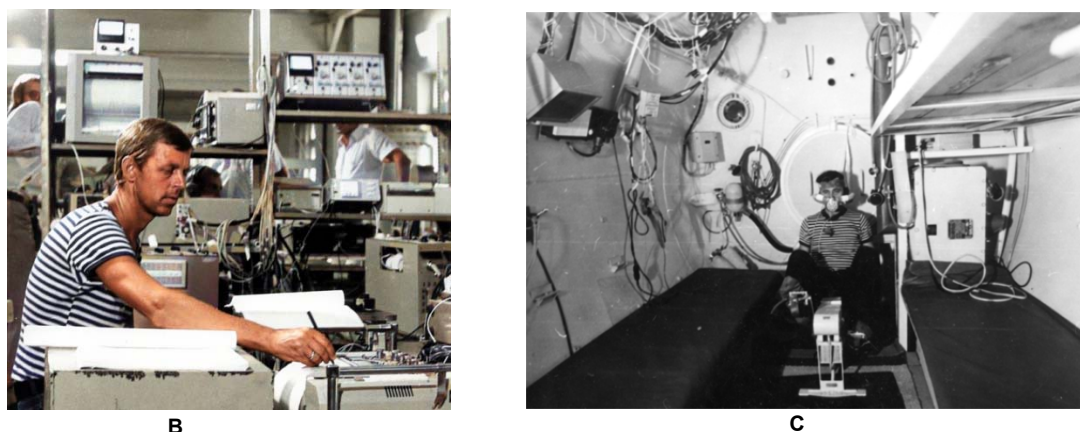


Fig. 4 Complex of hyperbaric chambers for saturation experiments ($N_2 + He/Ne + O_2$) at "depths" of 450 m (Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, 1988): Four aquanauts were in the pressure living compartment, above which was located a complex of recording equipment (A). Exposure under pressure, including decompression, was up to 30 days. Examination of aquanauts while exercising in a pressure chamber: (B) registration of physiological variables through communication connections in the pressure chamber (Prof. S. Gulyar), (C) an aquanaut under high pressure performs a bicycle ergometric load with registration of indicators of the oxygen regime of the organism.

Рис. 4 Комплекс барокамер для экспериментов по насыщению ($N_2 + He/Ne + O_2$) на «глубинах» 450 м (ЮОИО РАН, Геленджик, 1988 г.): Четыре акванавта находились под высоким давлением в герметичных жилых отсеках, над которыми располагался комплекс регистрирующей аппаратуры (А). Экспозиция под давлением, включая декомпрессию, составляла до 30 суток. Обследование акванавтов при физической нагрузке в барокамере: (В) регистрация физиологических показателей через коммуникационные подключения в барокамере (проф. С. Гуляр), (С) акванавт в условиях высокого давления выполняет велоэргометрическую нагрузку с регистрацией показателей кислородного режима организма.

The results of research in the field of hyperbaric physiology are reflected by Prof. S. Gulyar in his monographs *The Human Organism and the Underwater Environment* (1977) [16], and *Transport of Respiratory Gases during Human Adaptation to Hyperbaria* (1988) [46], which were the first in the field of aquanautics among the world's professional publications. Miraculously, they overcame totalitarian censorship and received recognition from the European Underwater Baromedical Society, Undersea and Hyperbaric Medicine Society (USA) and National Academy of Sciences (Ukraine). Fragments of these studies were repeatedly reported at international congresses [36,39,47-53].

Through many years of research of the functional state of aquanauts, it became possible to develop a technology for the rehabilitation of human health after saturation diving at the depths of the continental shelf. To achieve the necessary results, Prof. S. Gulyar and co-authors continued the high-mountain studies begun by Acad. Prof. Nikolay Sirotnin and his scientific school at the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU. Prof. S. Gulyar's fundamentally new contribution was the experimentally proven possibility of using stepwise adaptation to high-mountain hypobaria and the transformation of physiological mechanisms to accelerate the readaptation and rehabilitation of aquanauts after deep-sea diving. To do this, a series of studies were carried out in the hypobaric pressure chamber of the Elbrus Biomedical Station of the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU (Fig. 5), multi-level acclimatization regimes were applied, including the participation of climbers of the Himalayan team [54,55].

Prof. S. Gulyar's work in the field of hyperbaric physiology was positively evaluated by scientists from the academies of sciences of Ukraine and the USSR. In particular, they were highly appreciated by the director of the Institute, the world-famous physiologist Acad. Prof. Platon Kostyuk. With his assistance, the construction of a specialized physiological barocomplex in Kyiv began.

By the beginning of the 90s, Prof. S. Gulyar had developed a theoretical substantiation of a complex

Результаты исследований в области гипербарической физиологии отражены проф. С. Гуляром в его монографиях «Организм человека и подводная среда» (1977 г.) [16] и «Транспорт респираторных газов при адаптации человека к гипербарии» (1988 г.) [46], которые были первыми в области акванавтики среди профессиональных изданий мира. Чудом они преодолели тоталитарную цензуру и получили признание Европейского общества подводной баромедицины, Общества подводной и гипербарической медицины (США) и Национальной академии наук (Украина). Фрагменты этих исследований неоднократно докладывались на международных конгрессах [36,39, 47-53].

Благодаря многолетним исследованиям функционального состояния акванавтов удалось разработать технологию восстановления здоровья человека после насыщенных погружений на глубинах континентального шельфа. Для достижения необходимых результатов проф. С. Гуляр с коллегами продолжили высокогорные исследования, начатые акад. Н. Сиротининым и его научной школой в Институте физиологии им. Богомольца НАН Украины. Принципиально новым вкладом проф. С. Гуляра стала экспериментально доказанная возможность использования ступенчатой адаптации к высокогорной гипобарии и трансформации физиологических механизмов для ускорения реадaptации и реабилитации акванавтов после глубоководных погружений. Для этого был проведен ряд исследований в гипобарической барокамере Эльбрусской медико-биологической станции Института физиологии имени Богомольца НАН Украины (рис. 5), применены многоуровневые режимы акклиматизации, в том числе с участием альпинистов Гималайская команда [54,55].

Работа проф. С. Гуляра в области гипербарической физиологии получила положительную оценку ученых академий наук Украины и СССР. В частности, их высоко оценил директор института, всемирно известный физиолог

industrial technology for ensuring human performance and safety in underwater conditions. The first approbation of this technology was carried out in the conditions of oil and gas exploration on the Arctic shelf. The technology has been tested on specialized drilling vessels at depths up to 300 m [56,57]. Additional diving technology studies in relation to the conditions of the Baltic Sea were conducted in the 90s in collaboration with colleagues at the Naval Academy Heroes of Westerplatte, Gdynia [39,49-53,116,117] (Fig. 6). Subsequently, professional guidelines and certification documents for underwater medicine were developed.

акад. Платон Костюк. При его содействии началось строительство специализированного физиологического барокомплекса в Киеве.

К началу 90-х годов проф. С. Гуляр разработал теоретическое обоснование комплексной промышленной технологии обеспечения работоспособности и безопасности человека в подводных условиях. Первая апробация данной технологии была проведена в условиях разведки нефти и газа на арктическом шельфе. Технология апробирована на специализированных буровых судах на глубинах до 300 м [56,57]. Дополнительные исследования в области водолазных технологий применительно к условиям Балтийского моря были проведены в 90-х гг. совместно с коллегами Военно Морской Академии им. Героев Вестерплатте, г. Гдыня [39,49-53,116,117] (рис. 6). Впоследствии были разработаны профессиональные руководства и сертификационные документы по подводной медицине.



Fig. 5 International scientific group of employees of the Bogomoletz Institute of Physiology at National Academy of Sciences of Ukraine and the Heroes of Westerplatte Polish Naval Academy after joint work at the DGKN-120 barocomplex, Gdynia (1992):

(A) hyperbaric living compartment fragment, (B) employees of the Department of Underwater Physiology and Department of Diving Gear and Underwater Technology at Mechanical and Electrical Faculty (from left to right): inż. Stanisław Poleszak; mgr. inż. Mariusz Wojdowski; Dr. inż. Zbigniew Talaśka; Dr. n. med. Maciej Pachut; Adiunkt Dr. inż. Izidor Kafar; Prof. Dr. hab. n. med. Dr. Roman Olszański and Prof. Dr. hab. inż. Ryszard Kłos; (in the front row): Head of Department PhD, DSc, Prof. Sergiy Gulyar; Head of Department Dr. inż. Stanisław Skrzynski; PhD, Senior Res. Ass. Vladimir Ilyin.

Рис. 5 Международная научная группа сотрудников Института физиологии им. Богомольца НАН Украины и Польской военно-морской академии им. Героев Вестерплатте после совместной работы в барокомплексе ИГВК-120, Гдыня (1992 г.):

(А) фрагмент гипербарического жилого отсека, (В) сотрудники отдела подводной физиологии и отдела водолазного снаряжения и подводной техники механико-электрического факультета (слева направо): inż. Stanisław Poleszak; mgr. inż. Mariusz Wojdowski; Dr. inż. Zbigniew Talaśka; Dr. n. med. Maciej Pachut; Adiunkt Dr. inż. Izidor Kafar; Prof. Dr. hab. n. med. Dr. Roman Olszański and Prof. Dr. hab. inż. Ryszard Kłos; (in the front row): зав. отделом д.м.н. проф. Сергей Гуляр; зав. отделом Dr. inż. Stanisław Skrzynski; ст. науч.сотр. к.б.н. Владимир Ильин.

The relevance of these studies is preserved even today, when the extraction of raw materials for energy on the shelf becomes a vital goal (Fig. 7).

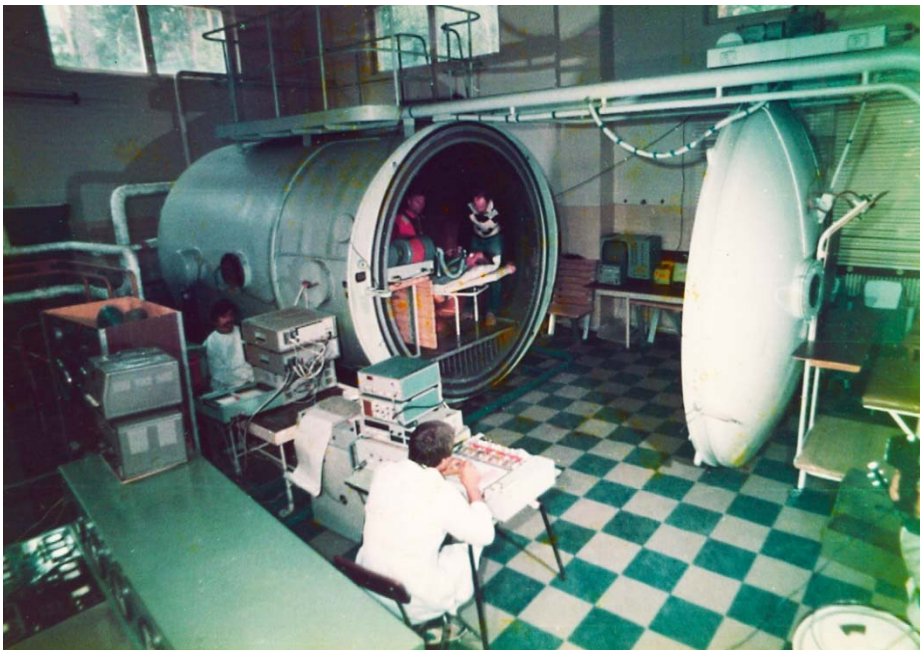
In 1990, the merits of Prof. S. Gulyar in the field of underwater physiology were awarded the State Award of the USSR—the Order of Honor.

Актуальность этих исследований сохраняется и сегодня, когда добыча энергетического сырья на шельфе становится жизненно важной задачей (рис. 7).

В 1990 г. заслуги проф. С. Гуляра в области подводной физиологии отмечены Государственной наградой СССР — Орденом Почета.



A



B

Fig. 6 (A) Acad. Platon Kostyuk, Director of the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, presents the achievements of the Underwater Physiology Department (Prof. S. Gulyar, left) to Vladimir Shcherbytsky, the First Secretary of the Central Committee of the Communist Party of Ukraine; Acad. Boris Paton, President of the NASU; Acad. V. Skok, Head of the Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology Branch of NASU and members of the Government of Ukraine (1988); (B) investigations of aquanauts in hypobaric pressure chamber (Elbrus) of the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU.

Рис. 6 (А) Акад. Платон Костюк, Директор Института физиологии им. Богомольца НАН Украины, представляет достижения Отдела подводной физиологии (проф. С. Гуляра, слева) Владимиру Щербицкому, Первому секретарю ЦК КПУ; акад. Борису Патону, Президенту НАНУ; акад. В. Скоку, Академику-секретарю отделения физиологии, биохимии и молекулярной биологии НАНУ и членам Правительства Украины (1988); (В) исследования акванавтов в гипобарической барокамере (Эльбрус) Института физиологии им. Богомольца НАН Украины.

In the last years (1990-s) of the existence of the USSR, Prof. S. Gulyar managed to solve an important organizational problem at the state level. On his initiative and with the assistance of Acad. P. G. Kostyuk, who was at that time the Head of the Division of Physiology of Academy of Science of USSR, an Interdepartmental Commission of the USSR was created to declassify research in the field of underwater physiology. It was a progressive decision, although a belated decision because of the bureaucracy—remember the accident of the “Kursk” submarine, for which Russia did not have neither enough equipment, technologies, nor aquanauts to save it. As we already wrote, in order to hide their incompetence, in the 70s the USSR military department classified research and banned scientific publications on this topic, which caused irreparable damage to the development of the ocean.

THE FOURTH STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

The "hyperbaric" model was then applied to the study of physiological and pathophysiological syndromes caused by other extreme factors. Since 1996, Prof. S. Gulyar's attention also has been focused on developing new lines of research related to environmental, marine and Antarctic medicine. He headed the direction of Antarctic Medicine in Ukraine, becoming its first scientific supervisor. At that time, he developed a multi-year program of medical research in Antarctica. As a result of these studies, new unique data were obtained that characterize the physiological changes in the cardiovascular system, mineral balance, individual and group psychology of a person, under the influence of a one-year stay in Antarctica under conditions of solar deprivation [58-60]. In 1998 during the Antarctic expedition Prof. Gulyar personally performed the first 15 underwater scientific dives on the shelf of Antarctica in the waters of the Ukrainian station Akademik Vernadsky (former British Faraday station) and tested on himself the new heat-protective Ukrainian diving wetsuits Katran [61,62].

In 1997-1999 Prof. S. Gulyar developed ways to improve human performance in extreme conditions (aquanauts, polar explorers, climbers) using vitamin and mineral complexes from WindMill (USA). As the general director of the American-Ukrainian Medical Diagnostic Center, he developed methods for in-depth examination of winterers and general strengthening schemes with antioxidant protection. Subsequently, this was tested on the participants of two annual wintering in Antarctica and showed positive results.

Studying the mechanisms of antioxidant protection of deep-sea divers, Prof. S. Gulyar was the first to discover an analogy between the chemical antiperoxide effect of antioxidants on the cell membrane and the biophysical effect of polarized light, which also changes its molecular configuration. These observations prompted Prof. S. Gulyar to the next turn in his professional interests.

В последние годы (1990-е) существования СССР проф. С. Гуляр сумел решить на государственном уровне важную организационную проблему. По его инициативе и при содействии акад. П. Г. Костюка, в то время заведующего Отделением физиологии АН СССР, была создана Межведомственная комиссия СССР по рассекречиванию исследований в области подводной физиологии. Это было прогрессивное решение, хотя и запоздалое из-за бюрократизма — вспомним аварию подводной лодки «Курск», для спасения которой в России не хватило ни техники, ни технологий, ни акванавтов. Как мы уже писали, чтобы скрыть свою некомпетентность, ВМФ СССР в 70-е годы засекретил исследования и запретил научные публикации на эту тему, что нанесло непоправимый ущерб освоению океана.

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Затем «гипербарическая» модель была применена к изучению физиологических и патофизиологических синдромов, вызванных другими экстремальными факторами. С 1996 г. внимание проф. С. Гуляра также было сосредоточено на развитии новых направлений исследований, связанных с экологической, морской и антарктической медициной. Он возглавил направление антарктической медицины в Украине, став его первым научным руководителем. В это время он разработал многолетнюю программу медицинских исследований в Антарктиде. В результате этих исследований получены новые уникальные данные, характеризующие физиологические изменения в сердечно-сосудистой системе, минеральном балансе, индивидуальной и групповой психологии человека под влиянием годичного пребывания в Антарктиде в условиях солнечной депривации [58-60]. В 1998 г. во время антарктической экспедиции проф. Гуляр лично совершил первые 15 подводных научных погружений на шельфе Антарктиды в акватории украинской станции «Академик Вернадский» (бывшая британская станция «Фарадей») и опробовал на себе новые украинские теплотзащитные водолазные гидрокостюмы «Катран» [61,62].

В 1997-1999 гг. проф. С. Гуляр разработал способы повышения работоспособности человека в экстремальных условиях (акванавты, полярники, альпинисты) с использованием витаминно-минеральных комплексов фирмы WindMill (США). Как генеральный директор Американо-украинского медико-диагностического центра разработал методики углубленного обследования зимовщиков и общеукрепляющие схемы с антиоксидантной защитой. Впоследствии это было опробовано на участниках двух ежегодных зимовок в Антарктиде и показало положительные результаты.

Изучая механизмы антиоксидантной защиты глубоководных водолазов, проф. С. Гуляр впервые обнаружил аналогии между химическим антиперекисным действием антиоксидантов на клеточную мембрану и биофизическим действием поляризованного света, также изменяющего ее молекулярную конфигурацию. Эти наблюдения

FIFTH STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

The difficulties of medical support for aquanauts in forced isolation (underwater laboratories, pressure chambers) has been overcome by prof. S. Gulyar due to the introduction of non-contact methods of treatment. He drew attention to the possibilities offered by polychromatic polarized light. Targeted research confirmed their viability. Cooperation with Zepter/Biopton AG Companies made it possible to carry out research on the effect of polarized light on the physiological systems of the organism and to study the biophysical aspects of this effect. Specifically, in collaboration with Prof. Yu. P. Limansky and Senior Researcher Z. A. Tamarova, the fact of reception of polarized electromagnetic waves of the optical range by acupuncture points, as well as the influence of this radiation and their influence on biologically active zones was explored. The result was the suppression of experimentally induced somatic and visceral pain [63-70] and attenuation of stress-induced responses [71,72]. Polarized light analgesic action was comparable to the analgesic effects of pharmacological drugs in moderate doses [73]. Studies have shown that non-invasive transdermal light therapy combined with chemical analgesics can reduce the dosage of pharmacological drugs used to treat pain. The analgesic and anti-stress properties of polarized light depend on its wavelength. Red light (the long-wavelength part of the visible light spectrum) had a significantly greater effect than medium-wavelength green light [72,74-78]. Light therapy for pain has now gained scientific and clinical acceptance, and its place in medical treatment is firmly established [79].

Having analyzed the facts obtained on light analgesia models, Prof. S. Gulyar was able to identify a more comprehensive list of biological effects of polarized light, which substantiated its utility in hyperbaric conditions [39], including for the correction of pain syndromes in early and late decompression disorders.

In 2000-2010, the new concept of Prof. S. Gulyar about the presence of a functional system of electromagnetic regulation of the organism was further developed [80-83]. According to this concept, polychromatic polarized light can be effective for ensuring the electromagnetic balance of the organism and non-contact treatment of inflammatory and pain syndromes, correction of disorders of the immune system, nervous system, injuries and skin diseases, various electromagnetic imbalances in the organism etc. This approach still has certain knowledge gaps that have yet to be filled.

The National Academy of Postgraduate Education and the Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of Ukraine have provided significant clinical experience, which allowed the development of targeted therapies by Biopton devices light and obtaining numerous evidence of their effectiveness [84, 85]. In addition, Biopton Light Therapy has shown positive results in people exposed to scuba diving, radiation and other adverse conditions. Studying the pathophysiology of hyperbaria and electromagnetic deprivation, Prof. S. Gulyar managed to reveal the common features of both states [15,86-88]. As a result, the theoretical development was successfully introduced into clinical practice to compensate for

подтолкнули проф. С. Гуляра к очередному повороту своих профессиональных интересов.

ПЯТЫЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Трудности медицинского обеспечения акванавтов, находящихся в вынужденной изоляции (подводные лаборатории, барокамеры) были преодолены проф. С. Гуляром путем внедрения бесконтактных методов лечения. Он обратил внимание на возможности полихроматического поляризованного света. Целевые исследования подтвердили их жизнеспособность. Сотрудничество с компаниями Цептер/Биоптрон АГ позволило провести исследования влияния поляризованного света на физиологические системы организма и изучить биофизические аспекты этого воздействия. В частности, в сотрудничестве с проф. Ю. П. Лиманским и ст. научн. сотр. З. А. Тамаровой исследовался факт рецепции поляризованных электромагнитных волн оптического диапазона точками акупунктуры, а также влияние этого излучения на биологически активные зоны. Результатом было подавление экспериментально индуцированной соматической и висцеральной боли [63-70] и ослабление стресс-индуцированных реакций [71,72]. Анальгетическое действие поляризованного света было сравнимо с обезболивающим действием фармакологических препаратов в умеренных дозах [73]. Исследования показали, что неинвазивная трансдермальная световая терапия в сочетании с химическими анальгетиками может снизить дозировку фармакологических препаратов, используемых для лечения боли. Анальгетические и антистрессовые свойства поляризованного света зависят от его длины волны. Красный свет (длинноволновая часть спектра видимого света) оказывал значительно большее влияние, чем средневолновый зеленый свет [72,74-78]. Световая терапия боли в настоящее время получила научное и клиническое признание, и ее место в лечении твердо установлено [79].

Проанализировав факты, полученные на моделях световой анальгезии, проф. С. Гуляр смог выделить более полный перечень биологических эффектов поляризованного света, что обосновало его полезность в гипербарических условиях [39], том числе для коррекции болевых синдромов при ранних и поздних декомпрессионных расстройствах.

В 2000-2010 гг. получила дальнейшее развитие новая концепция проф. С. Гуляра о наличии функциональной системы электромагнитной регуляции организма [80-83]. Согласно этой концепции полихроматический поляризованный свет может быть эффективен для обеспечения электромагнитного равновесия организма и бесконтактного лечения воспалительных и болевых синдромов, коррекции нарушений иммунной системы, нервной системы, травм и кожных заболеваний, различных электромагнитных дисбалансов в организме. Этот подход пока еще имеет определенные пробелы в знаниях, которые еще предстоит восполнить.

Исследования проф. С. Гуляра в сотрудничестве с Киевской национальной академией последипломного образования

disorders of environmental genesis.

THE SIXTH STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

In the 2000s, Prof. S. Gulyar continued his scientific work at the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU. as a leading researcher at the Department of General and Molecular Pathophysiology (Head: Acad. Prof. Aleksey Moybenko). In the same years he initiated joint research at the Institute and Zeptr/Bioptron Companies for the development and implementation of new medical lighting technologies (Fig. 8). He created the International Medical Innovation Center, which conducts biomedical research and implements its results. Patents [89-92] and monographs testify to the novelty and relevance of the development of new technologies [16,24,37,46,65,74, 84,85,93-97].

In 2015, after the creation of new LED (light-emitting diode) devices, the development of light therapy technology reached a new level. In particular, with the participation of Prof. S. Gulyar, new medical mobile devices based on red, blue and infrared LEDs—Medolight monochromatic devices—were created [77,98-101]. Their latest generation (Medolight-polychrome) has expanded the possibilities of their application to almost the full spectrum inherent in sunlight. In new devices, it became possible to create various combinations of frequencies and wave ranges (in the presence of effective power) both in an arbitrary configuration and in the form of targeted programs for the correction of specific diseases, which is in process of getting the International Patent [92].

и Харьковской медицинской академией последипломного образования МЗ Украины накопили значительный клинический опыт, который позволил разработать таргетную терапию светом аппаратов Биоптрон и получить многочисленные доказательства их эффективности [84,85]. Кроме того, Биоптрон-светотерапия показала положительные результаты у людей, подвергшихся подводному плаванию, радиации и другим неблагоприятным условиям. Изучая патофизиологию гипербарии и электромагнитной депривации, проф. С. Гуляр сумел выявить общие черты обоих состояний [15,86-88]. В результате теоретическая разработка была успешно внедрена в клиническую практику для компенсации нарушений среднего гезеза.

ШЕСТОЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В 2000-е годы проф. С. Гуляр продолжил научную работу в Институте физиологии им. Богомольца НАНУ в качестве ведущего науч. сотр. отдела общей и молекулярной патофизиологии (зав. акад. Алексей Мойбенко). В эти же годы он инициировал совместные исследования в Институте и Компаниях Цептер/Биоптрон по разработке и внедрению новых технологий светотерапии (рис. 8). Он создал Интернациональный медицинский инновационный центр, который проводит биомедицинские исследования и внедряет их результаты. Патенты [89-92] и монографии свидетельствуют о новизне и актуальности разработанных новых технологий [16,24,37,46,65,74, 84,85,93-97].

В 2015 г., после создания новых LED (светодиодных) аппаратов, развитие технологии светотерапии вышло на новый уровень. В частности, при участии проф. С. Гуляра были созданы новые медицинские мобильные устройства на основе красных, синих и инфракрасных светодиодов — монохроматические аппараты «Медолайт» [77,98-101]. Их последнее поколение (Медолайт-полихром) расширило возможности их применения практически до полного спектра, присущего солнечному свету. В новых устройствах появилась возможность создания различных сочетаний частот и диапазонов волн (при наличии эффективной мощности) как в произвольной конфигурации, так и в виде целевых программ коррекции конкретных заболеваний, что оформляется как Интернациональный патент [92].



A



B

Fig. 7 Mr. Philip Zepter, president of Zepter International Company, Prof. Sergiy Gulyar, and Prof. Djuro Koruga (A, from right to left) analyze the prospects for developing Bioptron devices for light therapy (B) (2017).

Рис. 7 Г-н Филип Цептер, президент компании Zepter International, проф. Сергей Гуляр и проф. Джуро Коруга (А, справа налево) анализируют перспективы развития аппаратов для светотерапии Биоптрон (В) (2017).

Cooperation with Professor of the University of Belgrade Djuro Koruga, who proposed a hypothesis about the conversion of light by the fullerene molecule (C60) and the possibility of using it for medical purposes [102, 103], determined a new direction of research by Prof. S. Gulyar. As a result, Prof. S. Gulyar and colleagues obtained new data on the presence of positive biological effects of “fullerene” light in animals and humans. In particular, they showed that polarized light converted by fullerene in Bioptron devices, which has a toroidal structure, or scattered light passing through the filters of Tesla HyperLight Eyewear glasses, caused physiological effects. A significant decrease of inflammatory pain and an increase in sleep duration were shown in mice. Many months of exposure of animals under fullerene lighting revealed a slowdown in the development of some signs of aging.

Using electroencephalographic approach (EEG), it was shown that under normal conditions, light converted by fullerene facilitates the performance of visual-motor tests in humans. With a long-term corrective load, fullerene light increases the speed of information processing in the visual analyzer, increases attention and reduces fatigue. The quality of performance of intensive mental load increases. Also, the EEG of the human brain showed an increase in the speed of interhemispheric information processes and an increase in the quality and efficiency of decisions made (according to the data of sensorimotor reactions) under the action of fullerene light when simulating driver blindness [104-111]. All this opens up the options of using fullerene light for medical purposes and in everyday life, as well as a deeper study of its mechanisms and possibilities.

Сотрудничество с профессором Белградского университета Джуро Коруга, выдвинувшим гипотезу о преобразовании света молекулой фуллерена (C60) и возможности его использования в медицинских целях [102, 103], определило новое направление исследований проф. С. Гуляра. В результате проф. С. Гуляр с коллегами получили новые данные о наличии положительных биологических эффектов «фуллеренового» света у животных и человека. В частности, они показали, что поляризованный свет, преобразованный фуллереном в аппаратах Биоптрон до тороидальной структуры, или рассеянный свет, проходящий через фильтры очков Tesla HyperLight Eyewear, вызывал физиологические эффекты. У животных было показано значительное уменьшение воспалительной боли и увеличение продолжительности сна. Многомесячное пребывание животных под фуллереновым освещением выявило замедление развития некоторых признаков старения.

С помощью электроэнцефалографического подхода (ЭЭГ) было выявлено, что в нормальных условиях преобразованный фуллереном свет облегчает выполнение зрительно-моторных тестов у человека. При длительной коррекционной нагрузке фуллереновый свет повышает скорость обработки информации в зрительном анализаторе, повышает внимание и снижает утомляемость. Повышается качество выполнения интенсивных умственных нагрузок. Также ЭЭГ головного мозга человека показала увеличение скорости межполушарных информационных процессов и повышение качества и эффективности принимаемых решений (по данным сенсомоторных реакций) под действием фуллеренового света при моделировании водительского ослепления [104-111]. Все это

THE SEVENTH STAGE OF SCIENTIFIC ACTIVITY

Remaining an enthusiast of studying the influence of extreme factors on the human organism, in 2000-2007 Prof. S. Gulyar took part in eight historical expeditions as the head of the scientific program, on copies of ancient Slavic oar boats under the leadership of Captain S. A. Voronov (Fig. 9). The ancient routes: "From the Varangians to the Greeks" (St. Petersburg-Istanbul), "The path of Ukrainian Cossacks resettled by Queen Catherine II from Ukraine to Taman" (Dnipro-Kuban), "The Great Silk Road" (Dnipro-Don-Volga) and "Amber Way" (Dnipro-Bug-Vistula-Baltic Sea-Neman) [112-115]. During the expeditions, medical and environmental studies were carried out, which revealed the features of the adaptive reactions of the organism, as well as the scale of environmental water pollution, including radiation [116,117]. Human psychology in extreme conditions, the mechanisms of behavior of members of small groups, and how to correct their psychological climate have been constant research topics in expeditions [58-60].

открывает возможности использования фуллеренового света в медицинских целях и в быту, с перспективой более глубокого изучения его механизмов и возможностей.

СЕДЬМОЙ ЭТАП НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Оставаясь энтузиастом изучения влияния экстремальных факторов на организм человека, в 2000-2007 гг. проф. С. Гуляр в качестве руководителя научной программы принял участие в восьми исторических экспедициях на копиях древнеславянских весельных ладей под руководством капитана С. А. Воронова (рис. 9). В натуральных условиях пройдены древние маршруты: «Из варяг в греки» (Санкт-Петербург-Стамбул), «Путь украинских казаков, переселенных царицей Екатериной II из Украины в Тамань» (Днепр-Кубань) «Великий шелковый путь» (Днепр-Дон-Волга) и «Янтарный путь» (Днепр-Буг-Висла-Балтийское море-Неман) [112-115]. В ходе экспедиций были проведены медико-экологические исследования, выявившие особенности адаптационных реакций организма, а также масштабы экологического загрязнения вод, в том числе радиационного [116,117]. Психология человека в экстремальных условиях, механизмы поведения членов малых групп и способы коррекции их психологического климата были постоянными темами исследований в экспедициях [58-60].



A



B



C

Fig. 8 Ancient Slavic boat Svarog (Ukraine) (A) and its crew (B) on the route "The Great Silk Road" (2000-2003); (C) members of the expeditions after the meeting with Mr. L. Kuchma, President of Ukraine; Mr. V. Yushchenko, Prime Minister; Mr. S. Voronov, Captain; Prof. S. Gulyar, Research Head; Mr. V. Tsybukh, Minister of Culture and Tourism of Ukraine (2000).

Рис. 8 Древнеславянская ладья Сварог (Украина) (A) и ее экипаж (B) на маршруте «Великий шелковый путь» (2000-2003 гг.); (C) участники экспедиций после встречи с Президентом Украины Л. Кучмой; Премьер-министром В. Ющенко, капитаном С. Вороновым; научным руководителем проф. С. Гуляром; министром культуры и туризма Украины В. Цыбухом (2000).

In 2006-2008 Prof. S. Gulyar took part in a unique Ukrainian-American archaeological program. During the underwater expeditions led by Captain R. Ballard, searches were carried out for sunken objects of different eras in the southwestern regions of the Crimean shelf (Fig. 10). During a successful underwater search with the participation of the scientific vessel Endeavor (USA), the underwater robot Hercules (USA) and the scientific vessel Nautilus-1 (Ukraine), more than 400 unknown underwater objects from different eras were discovered, in particular, a Byzantine vessel with amphoras [118,119].

At present, Prof. S. Gulyar continues his scientific work at the Bogomoletz Institute of Physiology of NASU as a leading researcher of the Department of Sensory Signaling (Head: Prof. N.V. Voytenko). New data have been gathered about the transcutaneous effects of light on inflammatory pain syndromes and stress. Prof. S. Gulyar has verified and refined the previously obtained physiological patterns and mechanisms of reactions to physical factors ranging from hyperbaria to fluctuations in the wave ranges of light and their power [17,72,77,78,110,120].

В 2006-2008 гг. проф. С. Гуляр принимал участие в реализации уникальной украинско-американской археологической программе. В ходе подводных экспедиций под руководством капитана Р. Балларда проводились поиски затонувших объектов разных эпох в юго-западных районах крымского шельфа (рис. 10). В ходе успешных подводных поисков с участием научного судна «Endeavor» (США), подводного робота «Hercules» (США) и научного судна «Nautilus-1» (Украина) было обнаружено более 400 неизвестных подводных объектов разных эпох, в частности, византийское судно с амфорами [118,119].

В настоящее время проф. С. Гуляр продолжает свою научную работу в Институте физиологии им. Богомольца НАНУ в качестве ведущего научного сотрудника отдела сенсорной сигнализации (зав.- проф. Н.В. Войтенко). Были собраны новые данные о чрезкожном воздействии света на воспалительные болевые синдромы и стресс. Проф. С. Гуляр проверил и уточнил ранее полученные физиологические закономерности и механизмы реакций на физические факторы в диапазоне от гипербарии до колебаний волновых диапазонов света и их мощности [17,72,77,78,110,120].



A

B

Fig. 9 After a successful underwater search and discovery of an ancient Greek vessel on the Black Sea shelf (Ukraine, Crimea) (2008): (A) Members of the US-Ukrainian expedition with the President of Ukraine Mr. Victor Yushchenko (in the center) and the head of the US expedition Prof. Robert Ballard* (right), Captain Sergiy Voronov (on the right), Prof. Sergiy Gulyar (second from left); (B) a fragment of work on lifting amphoras from a depth of 120 m.

*Prof. Robert Duane Ballard, US Navy Captain, oceanographer, eminent researcher in exploration the deep sea using of underwater robots, discoverer of the sinking places of the Titanic, the battleship Bismarck, the aircraft carrier USS Yorktown and many other underwater historical objects.

Рис. 9 После успешного подводного поиска и обнаружения древнегреческого судна на шельфе Черного моря (Украина, Крым) (2008):

(A) Участники американско-украинской экспедиции с Президентом Украины Виктором Ющенко (в центре) и руководителем американской экспедиции Prof. Robert Ballard* (справа), капитаном С. Вороновым (справа), проф. Сергеем Гуляром (второй слева); (B) фрагмент работ по подъему амфор с глубины 120 м.

*проф. Robert Duane Ballard, капитан ВМС США, океанограф, выдающийся исследователь в области исследования морских глубин с помощью подводных роботов, первооткрыватель мест гибели «Титаника», линкора «Бисмарк», авианосца «Йорктаун» и многих других подводных исторических объектов.

RECOGNITION OF PROF. S. GULYAR CONTRIBUTION IN THE DEVELOPMENT OF MEDICINE AND PHYSIOLOGY

With more than 150 scientific expeditions and 57 years of experience as an experimenter, Prof. S. Gulyar has accumulated a huge scientific baggage, which he summarized in 470 publications, speeches at numerous professional congresses in Ukraine and abroad, in 20 monographs and 11 inventions. He is the founder of the Longevity High Technologies book series, which includes 12 titles.

Prof. S. Gulyar is a full member of the UHMS (American Underwater Hyperbaric Medicine Society), the EUBS (European Underwater Baromedical Society), the Academy of Technological Sciences of Ukraine, the Academy of Informatics of Ukraine, a member of specialized scientific councils for the defense of doctoral dissertations, a member of the physiological, pathophysiological and physiotherapeutic societies of Ukraine, member of the editorial boards of the international journals Polish Hyperbaric Research and Journal of Health Sciences of Radom University (Poland), the Journal Energy of Innovations (Ukraine), vice-president of the Underwater Sports Federation of Ukraine.

Activities of Prof. S. Gulyar have been worthily marked by international professional societies, the President of Ukraine and the Orthodox Church. Recognition of services to the world scientific community and Ukraine was expressed by awarding the merits of Prof. S. Gulyar in the field of underwater physiology the Order of Honor (1990, USSR), the Zetterstorm Medal of the European Underwater Baromedical Society (1998, Sweden), the Honorary Diploma of the President (2001, Ukraine), the Honorary Diploma of the NASU (2003, Ukraine), the Medal of the President of Ukraine (2008), the Order of the Archangel Michael (2001, Ukraine) and the Order of Cossack Glory (2003, Ukraine).

During his scientific career, Prof. S. Gulyar went through a thorny path, on which he had to overcome constant physical overload, misunderstanding of his colleagues and administrative opposition, including the problems of secrecy in a totalitarian country. Prof. S. Gulyar never lost heart, with honor coming out of trials and enthusiastically eliminated problems that hindered progress in areas that were not easy to master. Not all of his plans came true, but there are still many years of fruitful work ahead—much of what he planned is still waiting in the wings [121,122].

ACKNOWLEDGMENTS

Colleagues from scientific and medical institutions, diving communities, friends from Polish Naval Academy, Military Medical University, as well as the Editorial Board and Editorial Office of the Polish Hyperbaric Research congratulate the Jubilee, wish him further creative inspiration and new scientific achievements.

ПРИЗНАНИЕ ВКЛАДА ПРОФ. С. ГУЛЯРА В РАЗВИТИЕ МЕДИЦИНЫ И ФИЗИОЛОГИИ

Имея более 150 научных экспедиций и 57-летний опыт экспериментатора, проф. С. Гуляр накопил огромный научный багаж, который он обобщил в 470 публикациях, выступлениях на многочисленных профессиональных конгрессах в Украине и за рубежом, в 20 монографиях и 11 изобретениях. Он является основателем серии книг «Высокие технологии долголетия», включающей 12 наименований.

Проф. С. Гуляр является действительным членом UHMS (Американского общества подводной гипербарической медицины), EUBS (Европейского общества подводной баромедицины), Академии технологических наук Украины, Академии информатики Украины, членом специализированных научных советов по защите докторских диссертаций, член физиологического, патофизиологического и физиотерапевтического обществ Украины, член редколлегий международных журналов Polish Hyperbaric Research и Journal of Health Sciences Радомского университета (Польша), журнала Энергия инноваций (Украина), вице-президент Федерации подводного спорта Украины.

Деятельность проф. С. Гуляра была отмечена по достоинству международными профессиональными сообществами, Президентом Украины и Православной Церковью. Признание заслуг перед мировым научным сообществом и Украиной было выражено награждением заслуг профессора С. Гуляра в области подводной физиологии Орденом Почета (1990, СССР), медалью Зеттерсторма Европейского общества подводной баромедицины (1998, Швеция), Почетной грамотой Президента (2001, Украина), Почетной грамотой НАНУ (2003, Украина), Медалью Президента Украины (2008), Орденом Архистратига Михаила (2001, Украина) и орденом Казачьей Славы (2003, Украина).

За свою научную карьеру проф. С. Гуляр прошел тернистый путь, на котором ему приходилось преодолевать постоянные физические перегрузки, непонимание оппонентов и административное противодействие, в том числе проблемы секретности в тоталитарной стране. Проф. С. Гуляр никогда не падал духом, с честью выходил из испытаний и с энтузиазмом устранял проблемы, мешавшие прогрессу в непростых для освоения областях. Не все его планы осуществились, но впереди еще много лет плодотворной работы — многое из задуманного еще ждет своего часа [121,122].

БЛАГОДАРНОСТИ

Коллеги из научных и медицинских учреждений, водолазных сообществ, друзья Военно-Морская Академия, Академия Военной Медицины а также редакция Журнала Polish Hyperbaric Research поздравляют Юбилера, желают ему дальней шего творческого вдохновения и новых научных достижений.

KAMIENIE MIŁOWE ŻYCIA

W 2022 roku przypada 80. rocznica urodzin profesora Siergieja Gulyara. Czołowy badacz Instytutu Fizjologii im. Bogomolca Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, dr S. Gulyar wniósł znaczący wkład naukowy do podwodnej fizjologii człowieka. Dr S. Gular wniósł znaczący wkład naukowy w fizjologię człowieka w warunkach ekstremalnych, w tym medycynę hiperbaryczną. Jego praca została doceniona przez naukowców na całym świecie [1-7].

Czołowy badacz Instytutu Fizjologii im. Bohomolca Narodowej Akademii Nauk Ukrainy, dr S. Gulyar wniósł znaczący wkład naukowy do podwodnej fizjologii człowieka, w fizjologię człowieka w warunkach ekstremalnych, w tym medycynę hiperbaryczną. Jego praca została doceniona przez naukowców na całym świecie.

Na ostatnim roku studiów wyższych pracował przez 3 lata jako pielęgniarski chirurg w szpitalach pierwszej pomocy w Doniecku. Po ukończeniu studiów dr Gular rozpoczął karierę medyczną jako chirurg - chirurgia brzuszna, traumatologia i anestezjologia - w Torecku w obwodzie donieckim. Równocześnie wykładał chirurgię i fizjologię w Collegium Medicum (1965-68). Później wykładał na Donieckim Uniwersytecie Państwowym na wydziale szkolenia medycznego studentów na czas pokoju i wojny (1968-1973).

Obwód doniecki w tamtych latach dla chirurga był areną codziennej walki o życie górników, często ciężko rannych w kopalniach, które niewiele zmieniły się od początku ubiegłego wieku. To samo można powiedzieć o pracownikach różnych sfer przemysłowych w Donbasie. Praca jako chirurga nauczyła dr S. Gulyara szybkiego reagowania i podejmowania właściwych decyzji pod presją czasu.

PIERWSZY ETAP DZIAŁAŃ NAUKOWYCH

Równoległe z chirurgią praktyczną dr S. Gulyar rozpoczął pracę naukową. Jego osobiste osiągnięcia sportowe i zawodowe w nurkowaniu doprowadziły go do badań w dziedzinie fizjologii podwodnej, które rozpoczął pod koniec lat 60. Podjął problematykę badań w dziedzinie adaptacji ludzkiego organizmu do warunków głębinowych w kontekście intensywnego pobytu akwonautów w podwodnych laboratoriach. Laboratoria podwodne Ichtyander-66-68 były pierwszymi eksperymentalnymi instalacjami podwodnymi w ZSRR i należały do pierwszej dziesiątki światowych laboratoriów tego typu [8-14]. Umożliwiały one człowiekowi przebywanie przez wiele dni na głębokości do 12 m przy pełnym nasyceniu tkanek azotem. Wynikiem tych badań było udowodnienie fazowego charakteru adaptacji do hiperbarii, co pozwoliło na naukowe uzasadnienie możliwości utrzymywania człowieka pod wodą przez wiele dni [15-17]. Należy zaznaczyć, że dr S. Gulyar część badań przeprowadził na sobie jako akwauta w podwodnym laboratorium Ichthyander-67 (rys. 1).



A



B

Rys. 1 Dr S. Gulyar (po lewej w pierwszym rzędzie) jako członek pierwszej załogi podwodnego laboratorium Ichthyander-67 (A), co pokazano w przekroju na Diagramie (B) (1967): (A) 5-osobowa mieszkalna konstrukcja podwodna, składająca się z 3 przedziałów z przedsionkiem wejściowym, przeznaczona do pracy akwonautów na głębokościach do 40 m bez dostępu do powierzchni, przy pełnym wysyceniu tkanek organizmu składnikami sprężonego powietrza. Laboratorium podwodne zainstalowano w sierpniu 1967 roku na szelfie Morza Czarnego na Ukrainie (Krym, Zatoka Laspi) na głębokości 14 m. Ekspozycja każdej z 2 załóg w warunkach hiperbarii wynosiła 7 dni, dekompresja: do 6 godz.

Uzyskane dane stanowiły podstawę do opracowania metod optymalizacji długotrwałej ekspozycji człowieka na ciśnienie (1966-67). Były to działania o podwyższonym ryzyku. Na uwagę zasługuje epizod walki o przetrwanie podwodnego laboratorium Ichthyander-67 podczas jego przypadkowego zatonięcia. Dr S. Gulyar, świadomy zagrożenia chorobą dekompresyjną, kontynuował obserwację, zapewnił łączność pod wodą i ze służbami naziemnymi oraz ewakuował akwonautów, co ostatecznie uratowało zarówno podwodne laboratorium, jak i cały kosztowny eksperyment.

W eksperymentach prowadzonych w laboratorium podwodnym Ichtyander oraz w klimatycznej komorze ciśnieniowej Instytutu Ratownictwa Górniczego ZSRR opracowano i przeprowadzono również oryginalne badania funkcjonowania układu krążenia i wyższej czynności nerwowej człowieka w warunkach hiperoksji i pod wodą. Równocześnie prowadzono też pierwsze podwodne obserwacje psychologii indywidualnej i grupowej akwonautów.

Osiągnięto najdłuższy 36-godzinny autonomiczny pobyt człowieka w specjalnym kombinezonie kosmicznym z indywidualnymi systemami podtrzymywania życia ("osobisty podwodny dom") [18,19]. W tym czasie dr S. Gulyar

i współpracownicy prowadzili wielodniowe badania termoregulacji i optymalizacji diety w ekstremalnych warunkach przeżycia po wypadkach morskich [20-23]. Badania te odpowiadały na wiele pytań dotyczących fizjologii człowieka w ekstremalnych warunkach, a sama technologia do dziś nie ma sobie równych. W latach 1969-1970 powstała pierwsza baza danych fizjologicznych akwanautów w różnym wyposażeniu ochronnym podczas podwodnych prac geologicznych i wiertniczych.

W tamtych latach, pod totalitarnym reżimem ZSRR, badania podwodne były sztucznie hamowane przez wydziały marynarki wojennej, które nie dysponowały odpowiednim zapleczem intelektualnym. Następnie całkowicie sklasyfikowano dziedzinę nauki związaną z fizjologią podwodną jako wojskową. Naukowcom zabroniono publikowania swoich danych, co spowodowało poważne szkody dla zespołów badawczych i kraju.

W 1971 roku dr S. Gulyar obronił pracę doktorską na temat "Przesunięcia funkcjonalne w organizmie człowieka podczas przebywania w laboratoriach podwodnych na płytkich głębokościach", na podstawie danych uzyskanych w laboratoriach podwodnych Ichthyander [24]. Była to pierwsza na świecie praca badająca fizjologię człowieka przebywającego przez długi czas pod wodą w sprężonym powietrzu z tkankami całkowicie nasyconymi azotem.

DRUGI ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

Dalsze badania naukowe dr S. Gulyar przez wiele lat i do chwili obecnej prowadził w Instytucie Fizjologii im. Bohomolca Narodowej Akademii Nauk Ukrainy. W 1973 roku został zatrudniony przez konkurencję; został przyjęty na konkurs na stanowisko młodszego, a następnie starszego pracownika naukowego Laboratorium Problemów Stosowanych (kierowanego przez prof. A.Z. Kołczyńskiego). Przez wszystkie te lata dr S. Gulyar koncentrował się na badaniu fizjologicznych mechanizmów adaptacji organizmu człowieka do ekstremalnych warunków środowiskowych: podwodnych, morskich, hiperbarycznych i hipobarycznych, wysokogórskich, arktycznych, antarktycznych, a także do warunków promieniowania i zanieczyszczeń chemicznych. Nadal osobiście uczestniczył w eksperymentach hiperbarycznych w celu uzyskania danych fizjologicznych przy wyższych ciśnieniach i różnych składach mieszanin gazowych. W szczególności parametry fizjologiczne akwanautów były badane w laboratoriach podwodnych Czarnomor (nitroks na głębokości do 30 m), w kompleksach kamór hiperbarycznych na głębokościach 40-450 m (nitroks, helioks, neonox) oraz w rzeczywistych warunkach morskich (do 300 m, helioks) [25-29].

TRZECI ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

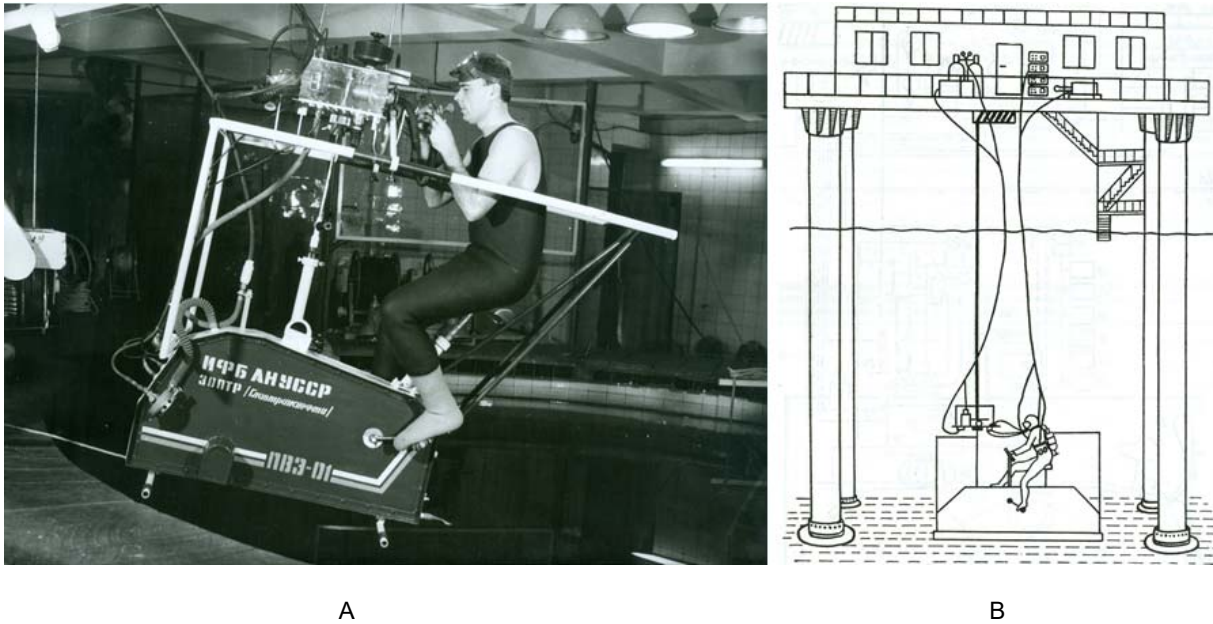
W 1980 roku dr S. Gulyar został kierownikiem laboratorium, a następnie kierownikiem katedry fizjologii podwodnej w Instytucie Fizjologii Bohomolca, Narodowej Akademii Nauk Ukrainy. Został kierownikiem Laboratorium, a następnie kierownikiem Zakładu Fizjologii Podwodnej w Instytucie Fizjologii im. Bohomolca, Narodowej Akademii Nauk. Nacisk położono na badanie zależności między organizmem a zmienionym środowiskiem gazowym w warunkach hiperbarycznych. W tych latach udowodniono, że organizm ludzki może przystosować się do długotrwałego przebywania w nowym zakresie mieszanin azotu i tlenu na głębokości do 40 m. Przy tym ujawniły się osobliwości oddychania, krążenia krwi, reakcji krwi i reżimu tlenowego oraz fizjologiczne cechy adaptacji akwanautów do różnych czynników hiperbarycznych: ciśnienia barometrycznego, gęstości i składu gazu. Zasadniczo nowe wyniki uzyskano w badaniach dekompresyjnych prowadzonych na głębokościach 10-100 m (1971-1972). W czterech seriach wielodniowych ekspozycji przy pełnym nasyceniu sprężonym powietrzem na głębokościach 10-20-30 m i 40 m (horyzonty zerowe) akwanauti nurkowali na różnych głębokościach do 100 m. Dr S. Gulyar i jego koledzy udowodnili, że są w stanie nurkować z "nowego zera" w standardowych warunkach dekompresji. W połączeniu z technologią nurkowania saturowanego, wyniki badań miały znaczący wpływ na przeżywalność bez dekompresji do 100 m z głębokości 10-40 m. Limit użycia sprężonego powietrza został osiągnięty ze względu na synergizm hipernitroemii i hiperoksji dla takich nurkowań. Przy ekspozycji na głębokości 40 metrów w 17 dniu jeden z akwanautów rozwinął ostrą psychozę azotową, według dr S. Gulyara na tle narkozy azotowej. Wymagało to awaryjnej dekompresji, która na szczęście okazała się skuteczna [28,29].

W latach 80. dr S. Gulyar brał udział w Państwowym Programie Badań nad Oddechem Delfinów. W ramach unikalnych eksperymentów dr S. Gulyar jako pierwszy na świecie przeprowadził serię "nurkowań" na głębokość 30 m w komorze ciśnieniowej razem z delfinem. Wówczas naukowców w tej dziedzinie interesowało pytanie, czy delfin może oddychać przy podwyższonym ciśnieniu - ma przecież ewolucyjnie wykształcony mechanizm automatycznej blokady zastawki oddechowej. W tym eksperymencie istniało zagrożenie dla życia eksperymentatora. Eksperyment został jednak przeprowadzony pomyślnie; uzyskano unikalne dane na temat reżimu tlenowego organizmu delfina. Udowodniono możliwość oddychania przy podwyższonym ciśnieniu. Otworzyło to perspektywę stworzenia delfinów-akanautów. Niestety, ze względu na reżim tajności, dane te nie zostały opublikowane. Ten sam los spotkał unikalny eksperymentalny dowód na możliwość bezdekompresyjnego wynurzania się zwierząt z głębokości 100 m na tle stosowania leków enterosorpcyjnych.

Ekonomia zawsze stawia przed badaczami pewne zadania. Tak więc rozwój szelfu kontynentalnego w latach 70-80-tych znacząco utrudniały nierozwiązane problemy fizjologiczne nurkowania głębinowego. Jednym z ważnych zadań było rozwiązanie problemu optymalizacji środowiska gazowego i jego fizjologicznego bezpieczeństwa dla człowieka. W celu rozwiązania tego problemu dr S. Gulyar opracował metodykę badania oddechowych, hemodynamicznych i biochemicznych mechanizmów regulacji transportu gazów oddechowych w organizmie pod wpływem wysokociśnieniowej sztucznej atmosfery z różnych proporcji tlenu, azotu, helu i neonu. Po raz pierwszy w światowej praktyce nurkowej scharakteryzowano reżimy tlenowe organizmu akwanautów [30-33].

Wraz z kolegami ze swojego oddziału dr S. Gulyar badał wpływ różnych obciążeń mięśni w wodzie na organizm (rys. 2). Pozwoliło to na uzyskanie bezpośrednich danych i opisanie patogeny integralnego zespołu wysokiego ciśnienia związanego z naruszeniem transferu gazów oddechowych podczas hiperbarii (w spoczynku i podczas pracy w wodzie). Naukowcy szczegółowo zbadali jego elementy składowe: nerwowy, oddechowy, krążenia, wymiany, kompresji i postdekompresji. Stało się to podstawą do opracowania działań terapeutycznych i profilaktycznych mających na celu

zachowanie zdrowia i zdolności do pracy akwonautów, poprawę efektywności i bezpieczeństwa ich pracy na wszystkich głębokościach dostępnych dla osoby w sprężeniu nurkowym [19,20,22,34-36].



Rys. 2 Zespół doświadczalny do podwodnej ergometrii rowerowej przed rozpoczęciem badań w akwencie głębinowym (A, nurek V. Michajłusenko) oraz schemat eksperymentu w warunkach rzeczywistych (B) (1988).

W 1983 roku dr S. Gulyar obronił pracę habilitacyjną "Respiratory and Hemodynamic Mechanisms of Regulation of the Oxygen Regimes of the Human Organism under Hyperbaria" [37]. Pod jego opieką naukową obroniono 5 prac doktorskich i 4 prace habilitacyjne (rys. 3). W 1993 roku dr S. Gulyar otrzymał tytuł naukowy profesora w specjalności "Fizjologia człowieka i zwierząt".

Dalsze badania wykazały rolę czynników hiperbarycznych - zwiększonego stopnia kompresji, hiperoksji, wysokiego ciśnienia parcjalnego w mieszaninach oddechowych azotu, helu i neonu - w rozwoju zmian czynnościowych w oddychaniu, krążeniu krwi i reżimie tlenowym u nurków głębinowych. Wbrew tradycyjnemu podejściu, postulującemu konieczność stosowania zwiększonej zawartości tlenu w mieszaninach gazów oddechowych, które zdominowało światową praktykę pracy głębinowej i doprowadziło do rozwoju patologii "tlenowej", prof. S. Gulyar udowodnił brak hipoksemii tętnicznej w normoksyjnym środowisku oddechowym o wysokiej gęstości. Wykorzystując dane dynamicznej analizy reżimów tlenowych organizmu, opracował i zastosował nową skuteczną metodę biologicznej korekty ciśnienia parcjalnego tlenu w mieszkalnych hiperbarycznych strukturach podwodnych [38,39].

W rezultacie uzasadniono i ostatecznie wprowadzono do oficjalnej praktyki nowe sposoby działania systemów podtrzymywania życia w strukturach hiperbarycznych.



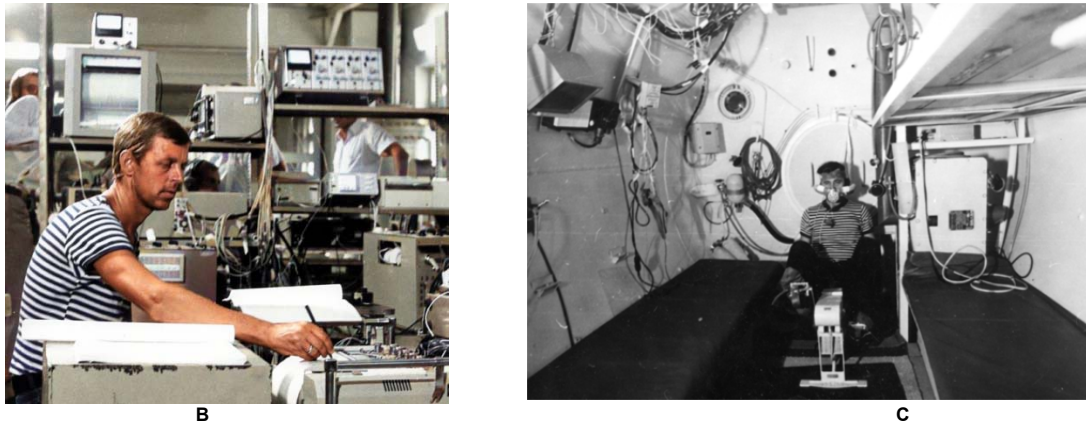
Rys. 3 Zakład Fizjologii Podwodnej Instytutu Fizjologii im. Bohomolca Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (kierownik: prof. S. Gulyar, w środku pierwszego rzędu) (1989).

Na podstawie danych uzyskanych w nurkowaniach modelowych (komora ciśnieniowa "głębokość" do 450 m) i rzeczywistych (do 300 m, szelf Morza Barentsa) prof. S. Gulyar wraz ze współpracownikami opracował system ekspercki do obliczania maksymalnego zużycia energii przez człowieka podczas pracy pod wodą oraz metodykę ergonomiczną oceny nowych technologii podwodnych [40,41].

Rozwój oryginalnych metodologii rejestracji parametrów oddychania umożliwił prof. S. Gulyarowi przeprowadzenie w połowie lat 80. unikalnych badań oddychania człowieka w hiperbarycznym ośrodku neonowym na głębokościach odpowiadających 250 m w helioksie, przy ekstremalnym 32-krotnym zagęszczeniu (rys. 4). Międzynarodowy kompleksowy eksperyment przeprowadzili naukowcy z Południowego Oddziału Instytutu Oceanologii im. Szirszowa Rosyjskiej Akademii Nauk, Instytutu Fizjologii im. Bohomolca NASU, Centralnego Laboratorium Badań Mózgu Bułgarskiej Akademii Nauk oraz Instytutu Problemów Biomedycznych Rosyjskiej Akademii Nauk. W tym eksperymencie zidentyfikowano i opisano nieznaną wcześniej zespół oddechowy, który występuje przy dużym oporze oddechowym, którego wiodącym zjawiskiem są oscylacje przepływów oddechowych w oskrzelach. Nowym mechanizmem, który umożliwia przemieszczanie się supergęstego gazu w drogach oddechowych, jest pojawienie się drugiego wykładnika prędkości przepływów oddechowych w oskrzelach średniego i małego rozmiaru [42-45].



A



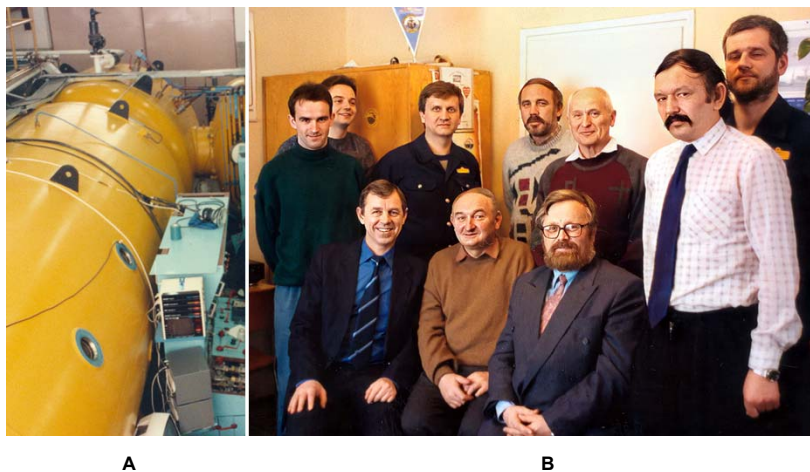
Rys. 4 Zespół komór hiperbarycznych do eksperymentów saturacyjnych ($N_2 + He/Ne + O_2$) na „głębokościach” 450 m (Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, 1988): Czterech akwanautów żyło pod ciśnieniem przedziału, nad którym znajdował się zespół urządzeń rejestrujących (A). Ekspozycja pod ciśnieniem, w tym dekompresja, trwała do 30 dni. Badanie akwanautów podczas ćwiczeń w komorze ciśnieniowej: (B) rejestracja zmiennych fizjologicznych poprzez połączenia komunikacyjne w komorze ciśnieniowej (prof. S. Gulyar), (C) akwanauta pod wysokim ciśnieniem wykonuje obciążenie ergometryczne roweru z rejestracją wskaźników reżim tlenowy organizmu.

Wyniki badań w dziedzinie fizjologii hiperbarycznej znalazły odzwierciedlenie w monografiach prof. S. Gulyara *The Human Organism and the Underwater Environment* (1977) [16] oraz *Transport of Respiratory Gases during Human Adaptation to Hyperbaria* (1988) [46]. Fragmenty tych badań były wielokrotnie referowane na międzynarodowych kongresach [36,39,47-53].

Dzięki wieloletnim badaniom stanu funkcjonalnego akwanautów możliwe stało się opracowanie technologii rehabilitacji zdrowia człowieka po nurkowaniu saturowanym na głębokości szelfu kontynentalnego. Aby osiągnąć niezbędne wyniki, prof. S. Gulyar i współautorzy kontynuowali wysokogórskie badania rozpoczęte przez Acad. Prof. Nikolay Sirotinin i jego szkołę naukową w Bohomolskim Instytucie Fizjologii NASU. Zasadniczo nowym wkładem prof. S. Gulyara była eksperymentalnie udowodniona możliwość wykorzystania stopniowej adaptacji do wysokogórskiej hipobarii i transformacji mechanizmów fizjologicznych w celu przyspieszenia readaptacji i rehabilitacji akwanautów po nurkowaniu głębinowym. W tym celu przeprowadzono serię badań w hipobarycznej komorze ciśnieniowej Stacji Biomedycznej Elbrus Instytutu Fizjologii im. Bohomolca NASU (ryc. 5), zastosowano wielostopniowe reżimy aklimatyzacyjne, w tym z udziałem alpinistów z ekipy himalaistów [54,55].

Prace prof. S. Gulyara w dziedzinie fizjologii hiperbarycznej były pozytywnie oceniane przez naukowców z Akademii Nauk Ukrainy i ZSRR. W szczególności wysoko ocenił je dyrektor Instytutu, światowej sławy fizjolog Acad. Prof. Platon Kostyuk. Z jego pomocą rozpoczęto budowę specjalistycznego laboratorium fizjologicznego w Kijowie (1986), (1986), ale wydarzenia związane z awarią w Czarnobylu przerwały dalsze prace.

Na początku lat 90. prof. S. Gulyar opracował teoretyczne uzasadnienie kompleksowej technologii przemysłowej dla zapewnienia sprawności i bezpieczeństwa człowieka w warunkach podwodnych. Pierwsza aplikacja tej technologii została przeprowadzona w warunkach poszukiwania ropy i gazu na szelfie arktycznym. Technologia została przetestowana na specjalistycznych jednostkach wiertniczych na głębokości do 300 m [56,57]. Dodatkowe badania technologii nurkowania w odniesieniu do warunków Morza Bałtyckiego przeprowadzono w latach 90. we współpracy z kolegami z Akademii Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte w Gdyni [39,49-53,116,117] (rys. 6). Następnie opracowano profesjonalne wytyczne i dokumenty certyfikacyjne dla medycyny podwodnej.



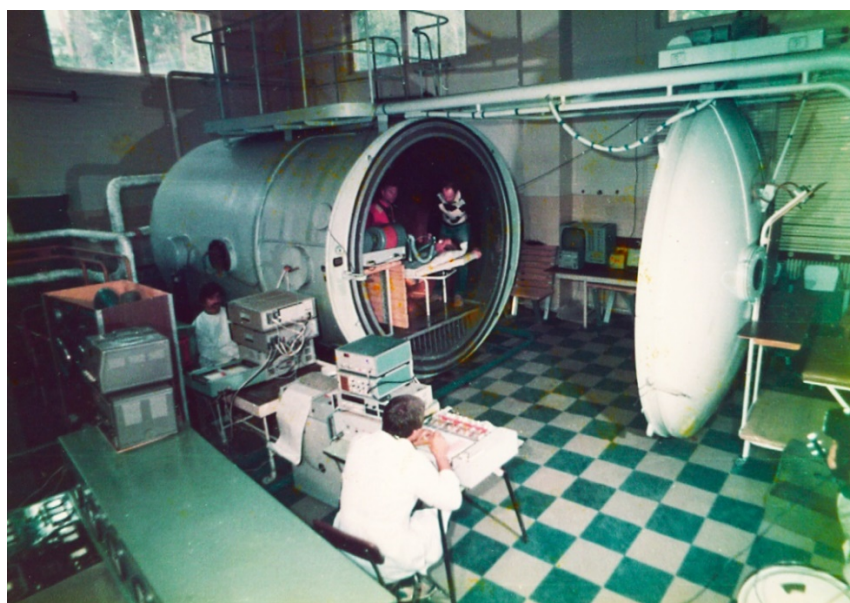
Rys. 5 Międzynarodowa grupa naukowa pracowników Instytutu Fizjologii im. Bohomolca Narodowej Akademii Nauk Ukrainy i Bohaterów Akademii Marynarki Wojennej na Westerplatte po wspólnej pracy na barokompleksie DGKN-120, Gdynia (1992):

(A) fragment komory mieszkalnej hiperbarycznej, (B) pracownicy Katedry Fizjologii Podwodnej i Katedry Sprzętu Nurkowego i Techniki Podwodnej Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego (od lewej): inż. Stanisława Poleszaka; mgr. inż. Mariusza Wojdowskiego; dr inż. Zbigniew Talaśka; dr n. med. Maciej Pachut; adiunkt dr inż. Izidora Kafara; prof. dr hab. n. med. dr Roman Olszański i prof. dr hab. inż. Ryszarda Kłosa; (w pierwszym rzędzie): Kierownik Zakładu dr hab. prof. Sergij Gulyar; Kierownik Zakładu dr inż. Stanisław Skrzyński; dr, starszy rez. Tylek. Władimir Iljin.

W 1990 roku osiągnięcia prof. Gulara w dziedzinie fizjologii podwodnej zostały docenione odznaczeniem państwowym ZSRR – Orderem Chwały Narodowej.



A



B

Rys. 6 (A) Acad. Platon Kostyuk, dyrektor Instytutu Fizjologii im. Bohomolca NASU, przedstawia dorobek Zakładu Fizjologii Podwodnej (prof. S. Gulyar, z lewej) Władimirowi Szerbyckiemu, Pierwszemu Sekretarzowi KC KPZR; Acad. Boris Paton, prezes NASU; Acad. W. Skok, Kierownik Oddziału Fizjologii, Biochemii i Biologii Molekularnej NASU i członkowie Rządu Ukrainy (1988); (B) badania akwautów w hipobarycznej komorze ciśnieniowej (Ebrus) Instytutu Fizjologii Bohomolca NASU.

W ostatnich latach (1990-s) istnienia ZSRR prof. S. Gulyarowi udało się rozwiązać ważny problem organizacyjny na szczeblu państwowym. Z jego inicjatywy i przy pomocy akad. P. G. Kostyuka (rys. 7), który był wówczas kierownikiem Wydziału Fizjologii Akademii Nauk ZSRR, utworzono Międzywydziałową Komisję ZSRR do odtajnienia badań w dziedzinie fizjologii podwodnej. Była to decyzja postępową, choć spóźnioną ze względu na biurokrację - przypomnijmy sobie wypadek okrętu podwodnego "Kursk", do którego uratowania Rosja nie miała ani wystarczającego sprzętu, ani technologii, ani akwautów. Jak już pisaliśmy, aby ukryć swoją niekompetencję, w latach 70. resort wojskowy ZSRR utajnił badania i zakazał publikacji naukowych na ten temat, co spowodowało nieodwracalne szkody w rozwoju.

CZWARTY ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

Model "hiperbaryczny" został następnie zastosowany do badania zespołów fizjologicznych i patofizjologicznych wywołanych przez inne czynniki ekstremalne. Od 1996 roku uwaga prof. S. Gulara skupiła się również na rozwijaniu nowych kierunków badań związanych z medycyną środowiskową, morską i antarktyczną. Kierował kierunkiem Medycyny Antarktycznej na Ukrainie, zostając jego pierwszym opiekunem naukowym. W tym czasie opracował wieloletni program badań medycznych na Antarktydzie. W wyniku tych badań uzyskano nowe unikalne dane charakteryzujące fizjologiczne zmiany w układzie krążenia, bilansie mineralnym, psychologii indywidualnej i grupowej człowieka, pod wpływem rocznego

pobytu na Antarktydzie w warunkach deprywacji słonecznej [58-60]. W 1998 roku podczas wyprawy antarktycznej prof. Gulyar osobiście wykonał pierwsze 15 nurkowań naukowych na szelfie Antarktydy w wodach ukraińskiej stacji Akademik Vernadsky (dawna brytyjska stacja Faraday) i przetestował na sobie nowe, ciepłochronne, ukraińskie mokasyne nurkowe Katran [61,62].

W latach 1997-1999 prof. S. Gulyar opracował sposoby poprawy wydajności człowieka w warunkach ekstremalnych (akwanauci, polarnicy, alpiniści) z wykorzystaniem kompleksów witaminowo-mineralnych firmy WindMill (USA). Jako dyrektor generalny Amerykańsko-Ukraińskiego Centrum Diagnostyki Medycznej opracował metody dogłębnego badania zimowników i ogólne schematy wzmocnienia z ochroną antyoksydacyjną. Następnie zostało to przetestowane na uczestnikach dwóch rocznych zimowisk na Antarktydzie i wykazało pozytywne wyniki.

Badając mechanizmy ochrony antyoksydacyjnej nurków głębinowych, prof. S. Gulyar jako pierwszy odkrył analogię pomiędzy chemicznym efektem antyperoksydacyjnym antyoksydantów na błonie komórkowej a biofizycznym efektem światła spolaryzowanego, które również zmienia konfigurację molekularną. Obserwacje te skłoniły prof. S. Gulyara do kolejnego zwrotu w jego zainteresowaniach zawodowych.

PIĄTY ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

Trudności z pozyskaniem i ograniczeniem działalności ośrodków hiperbrycznych zostały pokonane przez prof. S. Gulyar dzięki wprowadzeniu bezkontaktowych metod leczenia. Zwrócił uwagę na możliwości, jakie daje polichromatyczne światło spolaryzowane. Badania celowe potwierdziły ich przydatność. Współpraca z firmami Zepter/Biopton AG umożliwiła prowadzenie badań nad wpływem światła spolaryzowanego na układy fizjologiczne organizmu oraz badanie biofizycznych aspektów tego wpływu. W szczególności, we współpracy z Prof. Yu. P. Limansky i Z. A. Tamarovą zbadano fakt odbioru spolaryzowanych fal elektromagnetycznych zakresu optycznego przez punkty akupunkturalne, a także wpływ tego promieniowania i ich oddziaływanie na strefy biologicznie aktywne. Efektem było tłumienie eksperymentalnie wywołanego bólu somatycznego i trzewnego [63-70] oraz tłumienie reakcji wywołanych stresem [71,72]. Działanie przeciwbólowe światła spolaryzowanego było porównywalne z działaniem przeciwbólowym leków farmakologicznych w umiarkowanych dawkach [73].

Właściwości przeciwbólowe i antystresowe bólu światła spolaryzowanego zależą od jego długości fali. Terapia światłem bólu zyskała obecnie akceptację naukową i kliniczną, a jej miejsce w leczeniu medycznym jest mocno ugruntowane [79].

Po przeanalizowaniu faktów uzyskanych na modelach lekkiej analgezji, prof. S. Gulyar był w stanie zidentyfikować pełniejszą listę efektów biologicznych światła spolaryzowanego, co uzasadnia jego przydatność w warunkach hiperbarii [39], w tym do korekcji zespołów bólowych we wczesnych i późnych stadiach zaburzeń dekompresyjnych.

W latach 2000-2010 rozwinięto nową koncepcję prof. S. Gulyara dotyczącą obecności funkcjonalnego układu elektromagnetycznej regulacji organizmu [80-83].

Badając patofizjologię hiperbarii i deprywacji elektromagnetycznej, prof. S. Gulyar zdołał odkryć cechy wspólne obu stanów [15,86-88]. W rezultacie rozwój teoretyczny został z powodzeniem wprowadzony do praktyki klinicznej w celu kompensacji zaburzeń gęzości środowiskowej [84,85].

SZÓSTY ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

W 2000 roku prof. S. Gulyar, kontynuując pracę naukową w Instytucie Fizjologii Bohomolca na NASU, zainicjował wspólne badania z firmami Zepter/Biopton nad rozwojem i wdrażaniem nowych technologii światła medycznego (ryc. 8). Stworzył Międzynarodowe Centrum Innowacji Medycznych. Patenty [89-92] i monografie [16,24,37,46,65,74,84,85,93-97] świadczą o nowości i znaczeniu rozwoju technologii. Przy udziale prof. S. Gulyara powstały nowe medyczne urządzenia mobilne oparte na diodach LED czerwonej, niebieskiej i podczerwonej (Medolight) [77,98-101]. Ich najnowsza generacja („Medolight-polychrome”) jest wykonana na poziomie patentu międzynarodowego [92].



A



B

Ryc. 7 Pan Philip Zepter, prezes Zepter International Company, prof. Sergij Gulyar i prof. Djuro Koruga (A, od prawej do lewej) analizują perspektywy rozwoju urządzeń Bioptron do terapii światłem (B) (2017).

Współpraca z profesorem Uniwersytetu w Belgradzie Djuro Korugą, który wysunął hipotezę o przemianie światła przez cząsteczkę fullerenu (C₆₀) i możliwości wykorzystania jej do celów medycznych [102,103], wyznaczyła nowy kierunek badań. W rezultacie prof. S. Gulyar i współpracownicy uzyskali nowe dane na temat obecności pozytywnych efektów biologicznych światła „fullerenowego” u zwierząt i ludzi [104-111]. Zapoczątkowało to nową generację techniki światłoterapii z przeskórnym i ocnym mechanizmem aplikacji.

SIÓDMY ETAP DZIAŁANOŚCI NAUKOWEJ

Pozostając entuzjastą wpływu czynników ekstremalnych na organizm człowieka w latach 2000-2007 prof. S. Gulyar uczestniczył w ośmiu wyprawach historycznych na replikach starożytnych słowiańskich łodzi wiosłowych pod kierownictwem kpt. S. A. Woronowa jako kierownik programu naukowego (rys. 9). Starożytne szlaki: "Od Warangów do Greków" (St.-Petersburg - Sztambuł), "Droga ukraińskich Kozaków, przesiedlonych przez Katarzynę II z Ukrainy do Tamanu" (Dniepr - Kubań), "Wielki Jedwabny Szlak" (Dniepr - Don - Wołga) i "Bursztynowy Szlak" (Dniepr - Bug - Wisła - Bałtyk - Niemen) [112-115]. Podczas wypraw prowadzono badania medyczne i ekologiczne, które ujawniły specyficzne cechy reakcji adaptacyjnych organizmu oraz skalę zanieczyszczenia ekologicznego, w tym promieniowania [116,117]. Psychologia człowieka w warunkach ekstremalnych, mechanizmy zachowań członków małych grup i sposoby korygowania ich klimatu psychicznego były stałym przedmiotem badań w wyprawach [58-60].



A



B



C

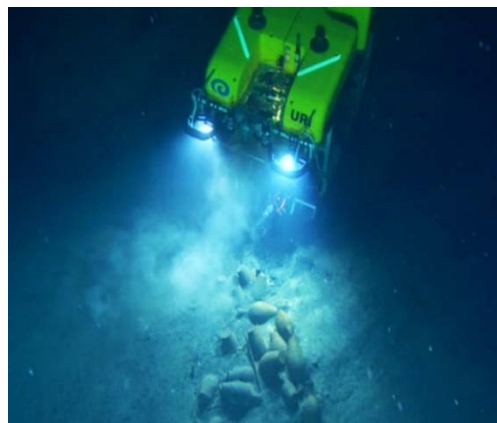
Rys. 8 Starożytny słowiański statek Svarog (Ukraina) (A) i jego załoga (B) na trasie „Wielki Jedwabny Szlak” (2000-2003); (C) członkowie wypraw po spotkaniu z Prezydentem Ukrainy L. Kuczma; Pan W. Juszczenko, Premier; pan S. Voronov, kapitan; prof. S. Gulyar, kierownik ds. badań; Pan W. Cybuch, Minister Kultury i Turystyki Ukrainy (2000).

W latach 2006-2008 prof. S. Gulyar brał udział w unikalnym ukraińsko-amerykańskim programie archeologicznym. Podczas podwodnych ekspedycji kierowanych przez kapitana R. Ballarda prowadzono poszukiwania zatopionych obiektów z różnych epok w południowo-zachodnich rejonach szelfu krymskiego (Fig. 10). Podczas udanych poszukiwań podwodnych z udziałem statku naukowego Endeavor (USA), robota podwodnego Hercules (USA) oraz statku naukowego Nautilus-1 (Ukraina) odkryto ponad 400 nieznanych obiektów podwodnych z różnych epok, w szczególności statek bizantyjski z amforami [118, 119].

Obecnie prof. S. Gulyar kontynuuje pracę naukową w Bohomolskim Instytucie Fizjologii NASU jako badacz Zakładu Sygnalizacji Sensorycznej (kierownik: prof. N.V. Voytenko). Zebrano nowe dane o przeskórnym działaniu światła na zapalne zespoły bólowe i stres. Prof. S. Gulyar zweryfikował i udoskonalił wcześniej uzyskane fizjologiczne wzorce i mechanizmy reakcji na czynniki fizyczne od hiperbarii do fluktuacji zakresów falowych światła i ich mocy [17,72,77,78,110, 120].



A



B

Rys. 9 Po udanych poszukiwaniach podwodnych i odkryciu starożytnego statku greckiego na szelfie Morza Czarnego (Ukraina, Krym) (2008): (A) Członkowie amerykańsko-ukraińskiej ekspedycji z prezydentem Ukrainy Wiktorem Juszczenką (w środku) i szefem amerykańskiej ekspedycji prof. Robertem Ballardem* (po prawej), kpt. Sergijem Woronowem (po prawej), prof. Siergiej Guliar (drugi od lewej); (B) fragment pracy dotyczącej podnoszenia amfor z głębokości 120m.

*Prof. Robert Duane Ballard, kapitan Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych, oceanograf, wybitny badacz głębin morskich za pomocą robotów podwodnych, odkrywca miejsc zatonięcia Titanica, pancernika Bismarck, lotniskowca USS Yorktown i wielu innych podwodnych obiektów historycznych.

UZNANIE DLA WKŁADU PROF. S. GULYARA W ROZWÓJ MEDYCyny I FIZJOLOGII

Dzięki ponad 150 wyprawom naukowym i 57-letniemu doświadczeniu jako eksperymentator, prof. S. Gulyar zgromadził ogromny bagaż naukowy, który podsumował w 470 publikacjach, wystąpieniach na licznych kongresach zawodowych na Ukrainie i za granicą, w 20 monografiach i 11 wynalazkach. Jest twórcą serii książek Longevity High Technologies, która obejmuje 12 tytułów.

Prof. S. Gulyar jest członkiem UHMS (American Underwater Hyperbaric Medicine Society), EUBS (European Underwater Baromedical Society), Akademii Nauk Technologicznych Ukrainy, Akademii Informatyki Ukrainy, członkiem specjalistycznych rad naukowych do obrony prac doktorskich, fizjologicznych, patofizjologicznych i fizjoterapeutycznych Ukrainy, członek rad redakcyjnych międzynarodowych czasopism Polish Hyperbaric Research i Journal of Health Sciences of Radom University (Polska), Journal Energy of Innovations (Ukraina), wiceprezes Federacji Sportów Podwodnych Ukrainy.

Działalność prof. S. Gulyara została godnie zaznaczona przez międzynarodowe towarzystwa zawodowe, Prezydenta Ukrainy i Kościół Prawosławny. Wyrazem uznania zasług dla światowego środowiska naukowego i Ukrainy było uznanie zasług prof. S. Gulyara w dziedzinie fizjologii podwodnej i wyróżnienie Orderem Honorowym (1990, ZSRR), Medalem Zetterstorma Europejskiego Towarzystwa Baromedycznego Podwodnego (1998, Szwecja), Honorowym Dyplomem

Prezydenta (2001, Ukraina), Honorowym Dyplomem NASU (2003, Ukraina), Medalem Prezydenta Ukrainy (2008), Orderem Archanioła Michała (2001, Ukraina) i Orderem Kozackiej Chwały (2003, Ukraina).

W czasie swojej kariery naukowej prof. S. Gulyar przeszedł ciernistą drogę, na której musiał pokonać ciągłe przeciążenie fizyczne, niezrozumienie kolegów i opór administracyjny, w tym problemy z zachowaniem tajemnicy w kraju totalitarnym. Prof. S. Gulyar nigdy nie tracił ducha, z honorem wychodził z prób i z entuzjazmem eliminował problemy hamujące postęp w dziedzinach, które nie były łatwe do opanowania. Nie wszystkie jego plany się spełniły, ale przed nim jeszcze wiele lat owocnej pracy - wiele z tego, co zaplanował, wciąż czeka w archiwach [121,122].

PODZIĘKOWANIE

Koledzy z instytucji naukowych i medycznych, środowisk nurkowych, przyjaciele z Akademii Marynarki Wojennej, byłej Wojskowej Akademii Medycznej a także Redakcja i Kolegium Redakcyjne PHR składają Jubilatowi gratulacje, życzą dalszych twórczych inspiracji i nowych osiągnięć naukowych.

REFERENCES

- Gulyar Sergiy Alexander. 2002. Fiziol. J. 48 (5): 104-5 (in Ukrainian);
- Kyjenko, V. M. 2006. "Gulyar Sergiy Alexander." In Encyclopedia of Modern Ukraine. Kyiv: Institute of Encyclopedic Studies of NASU, p. 617 (in Ukrainian);
- Gulyar Sergiy Alexander. 2007. Man of the Year 1990-2006. A Celebrated Collection of Biographies. Raleigh, NC: The American Biographical Institute, p. 25;
- Gulyar Sergiy Alexander. 2007. Who's Who in Science and Engineering—2006-2007, pp. 805, 2780;
- Gulyar Sergiy Alexander. 2012. Photobiology and Photomedicine 9 (1-2): 10-4 (in Russian);
- Gulyar Sergiy Alexander. 2012. Fiziol. J. 58 (6): 128-30 (in Ukrainian);
- Gulyar Sergiy Alexander. 2015. "Ukrainian Scientists Are the Elite of the State." Logos Ukraine. 4: 170 (in Ukrainian);
- Barats, Y. M., Kiklevitsch, Y. N., and Gulyar, S. A. 1971. "According to the Program Ichthyander." In Man and the Environment. Leningrad: Gydrometeoizdat, pp. 128-9 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Barats, Y. M., and Kiklevitsch, Y. N. 1973. "Die Ichthyander-Experimente. Zur Adaptation des Menschen an die Bedingungen in UW-Laboratorien in geringen Tiefen." Poseidon 136 (4): 158-62 (in German);
- Gulyar, S. A. 2001. "Aquanautics." In Encyclopedia of Modern Ukraine. Kyiv: Institute of Encyclopedic Studies of NASU, pp. 293-4 (in Ukrainian)
- Gulyar, S. A. 2002. "Ichthyander and Aquanauts." Around the World 7: 26-33 (in Russian);
- Gulyar, S. A., and Kiklevich, Y. N. 2003. "Underwater Technologies: Aquanautics in Ukraine." Aqua 2: 76-87 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 2008. "Underwater Laboratories Ichthyander-66, 67, 68." In Encyclopedia of Maritime Disasters in Ukraine. Kyiv: Bogdana, pp. 863-5 (in Ukrainian);
- Gulyar, S. A. 2008. "Historical Notes to the 40th Anniversary of the of the First Underwater Laboratories Ichthyander in the USSR." Neptun 2: 48-53 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Barats, Y. M., and Kiklevich, Yu. N. 1974. "The Basic Patterns of Man Adaptation to the Conditions of Underwater Laboratories at Shallow Depths." Advances in the Physiological Sciences 5 (3): 82-101 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Shaparenko, B. A., Kiklevich, Y. N., Barats, Y. M., and Grinevich, V. A. 1977. The Human Organism and the Underwater Environment. Kyiv: Zdorov'ya, pp. 1-183 (in Russian);
- Gulyar, S. A., and Barats, Y. M. 2019. "Habitable Underwater Hyperbaric Facilities: Respiratory Balance in the Human Organism during Adapting to Saturation Nitrogen-Oxygen Hyperbaria." Polish Hyperbaric Research 68 (3): 93-118 (in English and Russian);
- Barats, Y. M., Gulyar, S. A., Zubchenko, A. G., Kiklevich, Y. N., and Selin, A. G. 1971. "Diving Suit for a Long-Term Submersion." Shipbuilding 9: 26 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Vesely, G. A., Barats, Y. M., Gmyrya, V. I., Kiklevich, Y. N., Misyura, A. G., Politikin, S. M., Selin, V. A., Sirota, S. S., and Filippov, M. M. 1975. "To the Technique of Medical and Physiological Research in the Underwater Environment." In Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 209-16 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Barats, Y. M., Kasakov, P. M., Ivanin, A. A., and Tunin, G. O. 1970. "Change of Some Physiological Functions in Scuba Divers-Drillers." Fiziol. J. 16 (6): 768-73 (in Ukrainian);
- Gulyar, S. A., Barats, Y. M., and Kiklevich, Y. N. 1971. "Some Problems of Aquanauts Alimentation in Underwater Laboratories and Water Environment." Nutrition Issues 2: 17-22 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Sirota, S. S., Kiklevich, Y. N., and Pevny, S. A. 1972. "Study of Some Variables of Higher Nervous Activity of a Aquanauts during Many Hours of Stay in the Water Environment." Fiziol. J. 18 (6): 744-50 (in Ukrainian);
- Gulyar, S. A., and Sirota, S. S. 1974. "State of Human Higher Nervous Activity during Long Stay in Limited Space under a Pressure of 3 and 5 atm." Fiziol. J. 20 (4): 440-8 (in Ukrainian);
- Gulyar, S. A. 1971. "Functional Changes in the Human Organism when Staying in Underwater Laboratories at Shallow Depths." PhD Dissertation synopsis, Donetsk: Donetsk Nat Medical Institute, Min of Health Care of Ukraine: 1-21 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 1975. "Oxygen Regimes of Aquanauts at a Depth of 15 and 30 m." in Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 118-25 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 1975. "On Human Adaptation to Conditions of Long-Term Stay at a Depth of 15-40 m." in Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 86-93 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Kolchinskaya, A. Z., and Korolev, Y. N. 1975. "Changes in the Breathing of Aquanauts during Long Stay in the Underwater Laboratory at a Depth of 30 m." In Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 100-7 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 1975. "The State of External Respiration, Hemodynamics and Oxygen Transport Function of the Blood in Subjects under Pressure for Many Days, Equivalent to Depths of 20 and 40 m." in Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 158-67 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Olszanski, R., and Skrzynski, S. 2009. "General Characteristic of Concept of 'Zero Horizon' (Saturation Plateau) in Saturation Diving and Its Experimental Examination." Polish Hyperbaric Research 29 (4): 37-48;
- Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., Moiseenko, E. V., Dmitruk, A. I., Fedorchenko, V. I., Evtushenko, A. L., Boltychev, I. R., and Maksimov, V. P. 1992. "Breathing Readaptation, Blood Circulation and Oxygen Regime of Aquanauts after Saturation Dives to Depths of up to 450 m." Aerospace and Environmental Medicine 26 (1): 20-4 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 1980. "Interrelations of Respiration Circulation and Oxygen Regimes of Man under Hyperbaric Hyperoxia at 2.5-4 kgf/cm²." Fiziol. J. 26 (1): 45-52 (in Russian);
- Gulyar, S. A. 1980. "Dynamics of Respiration, Blood Circulation and Oxygen Regimes of Human Organism under Influence of Breathing Mixture Increased Density and Hyperoxia." Fiziol. J. 26 (6): 823-9 (in Russian);
- Gulyar, S. A., and Kolchinskaya, A. Z. 1982. "Human Organism Oxygen Regimes during Staying in Nitrogen-Helium-Oxygen Medium under a Pressure of 11 kgf/cm²." In Physiological Action of Hyperbaria. Kyiv: N dumka, pp. 79-84 (in Russian);
- Gulyar, S. A., and Sakhno, P. N. 1975. "Influence of the Conditions of Underwater Laboratories on the Development of Diseases in Aquanauts." In Underwater Medical and Physiological Research. Kyiv: N dumka, pp. 64-70 (in Russian);
- Gulyar, S. A., and Ilyin, V. N. 1990. "Contemporary Conceptions of Human Organism Adaptation to Hyperbaria and Its Readaptation after Decompression." Fiziol. J. 36 (4): 105-14 (in Russian);
- Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., Dmitruk, A. I., and Moiseenko, E. V. 1990. "Physiological Mechanisms of Adaptation on Divers to the Conditions of Deep-Water Dives in the Arctic." In EUBS 1990: Proc. Joint Meeting on Diving and Hyperbaric Med., Amsterdam, pp. 311-8;

37. Gulyar, S. A. 1983. "Respiratory and Hemodynamic Mechanisms of Oxygen Regimes Regulation of the Human Organism at Hyperbaria." DSc Dissertation synopsis, Kyiv: Bogomolets institute of physiology, Nat Acad Sci of Ukraine: 1-47 (in Russian);
38. Kolchinskaya, A. Z., and Gulyar, S. A. 1982. "Biological Method of Oxygen Partial Pressure Correction in Nitrogen Helium-Oxygen Environment under 11 kgf/cm²." In *Physiological Action of Hyperbaria*. Kyiv: N dumka, pp. 125-33. (in Russian);
39. Gulyar, S. A., Olszanski, R., and Skrzynski, S. 2011. "Biophysical Method of Correction Disorders Caused by Hyperbaria." In *Proceedings of the 37th Annual Meeting of the European Underwater and Baromedical Society, 24-27 August, 2011, Gdansk*, p. 85;
40. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., Dmitruk, A. I., Zakharchenko, V. V., Evtushenko, A. L., and Beresetskaya, N. M. 1990. "Automatized System of Calculation of Divers' Individual Regimes of Work and Rest at Depths 40-300 m in Heliox Saturation Dives." In *Proceedings Internat. Conf. on Ocean Res. and Underwater Technology "Interoceanology '90"*, Szczecin, pp. 141-53;
41. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., and Rindin, A. V. 1991. "Automatic Expert System of Calculation of Divers' Maximal Energy Expenditures during Work under Water at Depth 40-300 m and Ergonomic Evaluation of New Dives' Technology and Underwater Tools." In *Proceedings of III Sympos. Nurkowanie Saturowane, Problematika Techniczna*, Gdynia, pp. 17-23;
42. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., and Boltychev, I. R. 1990. "New in the Mechanics of Forced Human Respiration in an Extremely High Density Gas Environment." *Proc. of the USSR Academy of Sciences* 315 (3): 751-4 (in Russian);
43. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., and Boltychev, I. R. 1991. "High Density Breathing Syndrome: I. Oscillations on 'Flow-Volume' Curves during Forced Breathing in Dense Gas Medium." *Fiziol. J.* 37 (4): 19-26 (in Russian);
44. Boltychev, I. R., Ilyin, V. N., and Gulyar, S. A. 1991. "High Density Breathing Syndrome: II. Mechanics of Forced Breathing with Artificial Resistive Load in Normobaria." *Fiziol. J.* 37 (4): 26-32 (in Russian);
45. Ilyin, V. N., Gulyar, S. A., and Boltychev, I. R. 1991. "High Density Breathing Syndrome: III. Functional Value of Respiratory Flow Oscillations while Breathing in Dense Gas Medium." *Fiziol. J.* 37 (4): 32-9 (in Russian);
46. Gulyar, S. A. 1988. *Transport of Respiratory Gases during Adaptation of Man to Hyperbaria*. Kyiv: N dumka, pp. 1-296 (in Russian);
47. Gulyar, S. A. 1991. "Regulation and Correction of Oxygen Balance of Organism of Man at Hyperbaria." In *Proc. of the XVII Ann. Meet. of EUBS on Diving and Hyperbaric Med.*, Heraclion, Crete, Sept. 29-Oct. 3, 1991, pp. 105-12;
48. Gulyar, S. A., and Ilyin, V. N. 1993. "Restitution of Lung Ventilatory Function of Deep Divers in Mountains." In *Proc. of the XIX Ann. Meet. of EUBS on Diving and Hyperbaric Med.* Trondheim, Norway, Aug. 17-20, 1993, pp. 89-92;
49. Olszanski, R., Gulyar, S. A., Klos, R., and Skrzynski, S. 1993. "Platelet Haemostasis—Hyperbaric Air Exposures." In *Proc. of the XIX Ann. Meet. of EUBS on Diving and Hyperbaric Med.* Trondheim, Norway, Aug. 17-20, 1993, pp. 163-8;
50. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., and Olszanski, R. 1994. "Functional Reserves and Age Limits for Many Years Deep Dives." In *Proc. of the XX Ann. Meet. of EUBS on Diving and Hyperbaric Med.* Istanbul, Turkey, Sept. 4-8 1994, pp. 26-31;
51. Ilyin, V. N., Gulyar, S. A., Skrzynski, S., and Pachut, M. 1994. "Pulmonary Mechanical Function after Short-Term Dives to Depths down to 100 m." In *Proc. XX Ann. Meet. of EUBS on Diving and Hyperbaric Med.*, Istanbul, Turkey, Sept. 4-8, 1994, pp. 473-8;
52. Gulyar, S. A., Ilyin, V. N., Skrzynski, S., and Pachut, M. 1996. "Technology of Diver's Workability Support: Decompression Enterosorbentive Detoxication." In *Proc. Internat. Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Med.*, Milano, Italy, Sept. 4-8, 1996, pp. 447-50;
53. Ilyin, V. N., Gulyar, S. A., and Olszanski, R. 1996. "Autonomic Nervous Function and Disorders of Circulation in Compressed Air." In *Proc. Internat. Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Med.*, Milano, Italy, Sept. 4-8, 1996, pp. 549-51;
54. Gulyar, S. A., Beloshitsky, P. V., Fedorchenko, V. I., Moiseenko, E. V., Litvinsky, A. M., Todosiev, V. P., Kramarenko, V. A., Ivanova, L. I., and Bilyk, I. I. 1985. "Influence of High Mountain Conditions on the Functional State of the Organism of Aquanauts, Trained for High Pressure and the Water Environment." In *Adaptation and Resistance of the Organism in the Mountains*. Kyiv: N dumka, pp. 138-55 (in Russian);
55. Ilyin, V. N., and Gulyar, S. A. 1993. "Readaptation of the Ventilatory Function of the Lungs in Deep-Water Divers under Conditions of Mid-height Mountains." *Fiziol. J.* 39 (5-6): 33-9 (in Russian);
56. Gulyar, S. A., and Ilyin, V. N. 1994. "Adaptation of Breathing to Hyperbaria: Many Years Monitoring and Correction." In *Proceedings of the Long Term Health Effects of Diving*. Internat. Consensus conf. Godeyosund, Norway, June 6-10, 1993. Bergen, pp. 343-58;
57. Gulyar, S. A., Dmitruk, A. I., Ilyin, V. N., and Kramar, I. P. 1999. "On the Assessment of Age Limits for the Activity of Deep Divers." *Military Medical J.* 320 (9): 66-8 (in Russian);
58. Gulyar, S. A. 2002. "Group and Individual Psychological Status of Winterers in Sociological Aspect. 1. The Problem of Antarctic Wintering and the Initial State." *Bull. Ukr. Ant. Center* 4: 130-7 (in Russian);
59. Gulyar, S. A. 2006. "Harmony or Conflict." *Expedition* 3 (1): 82-90 (in Russian);
60. Gulyar, S. A., Olszanski, R., and Cobos, S. 2009. "Psychological Peculiarities of a Year Stay in Antarctica: 1. Estimation of Selection and Inner Team Structure." *Polish Hyperbaric Research* 29 (4): 37-48 (in Russian);
61. Gulyar, S. A., and Ilyin, V. N. 1998. "First Experience and Prospects of Antarctic Underwater Research." *Bull. Ukr. Ant. Center*. 2: 214-27 (in Russian);
62. Gulyar, S. A. 2002. "Underwater Search in the Vicinity of the Antarctic Station 'Akademik Vernadsky'." *Diving* 1: 35-9. (in Russian);
63. Limansky, Y. P., Tamarova, Z. A., Gulyar, S. A., and Bidkov, E. G. 2000. "Examination of the Analgetic Action of Polarized Light on the Acupuncture Point." *Fiziol. J.* 46 (6): 105-11 (in Ukrainian);
64. Limansky, Y. P., Tamarova, Z. A., and Gulyar, S. A. 2003. "Suppression of Visceral Pain by Action of the Low Intensity Polarized Light on Antinociceptive Acupuncture Points." *Fiziol. J.* 49 (5): 43-51 (in Ukrainian);
65. Gulyar, S. A. 2003. *Medical Technologies Presentation*. Kyiv: Zepiter: 1-136 (in Russian);
66. Limansky, Y. P., Tamarova, Z. A., and Gulyar, S. A. 2006. "Suppression of Pain by Exposure of Acupuncture Points to Polarized Light." *Pain Res. Manag.* 11 (1): 49-57;
67. Limansky, Y. P., Gulyar, S. A., and Samosyuk, I. Z. 2007. "Scientific basis of acupuncture." *Reflexotherapy* 20 (2): 9-18. (in Russian);
68. Limansky, Y. P., Gulyar, S. A., and Samosyuk, I. Z. 2007. "Scientific Basis of Acupuncture: 2." *Kontakt*. 9 (2): 391-402;
69. Limansky, Y. P., Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2009. "Bioptron-Induced Analgesia: 2. Comparative Estimation of Antinociceptive Action of Polarized and Unpolarized Light." In *Anthology of Light Therapy*. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 190-203 (in Russian);
70. Limansky, Y. P., Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2009. "Bioptron-Induced Analgesia: 6. Effect of PILER-Light on Acute Short-Lasting Pain." In *Anthology of Light Therapy*. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 225-34 (in Russian);
71. Tamarova, Z. A., Limansky, Y. P., and Gulyar, S. A. 2009. "Effect of Low-Intensity Red Polarized Light on Stress-Induced Behavior in Mice." In *Proc. VI Int. Symp. "Actual Problems of Biophysical Medicine"*, May 14-17, 2009, Kyiv, pp. 104-5 (in Russian);
72. Gulyar, S. A., Tamarova, Z. A., and Taranov, V. V. 2022. "Innovative Light Therapy: 5. Anti-stress Effects of Polarized Polychromatic and Monochromatic Light of Halogen and LED Origin." *J of US-China Medical Science*. 19, 2: 29-45;
73. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2019. "Comparison of the Analgetic Effect of Low-Intensive Polarized Polychromatic Light and Analgesics." *J. of US-China Medical Science* 16 (1): 1-15;
74. Gulyar, S. A., Limansky, Y. P., and Tamarova, Z. A. 2007. *Pain Color Therapy: Treatment of Pain Syndromes with Color Polarized Light (Manual)*. Kyiv: Bogomolets institute of physiology of NASU, pp. 1-128 (in Russian);
75. Limansky, Y. P., Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2009. "Bioptron-Analgesia: 13. Comparative Evaluation of Efficacy of Analgesic Action of Red Polarized and Unpolarized Light for Animals with Tonic and Acute Pain." In *Anthology of Light Therapy*. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 732-41 (in Russian);
76. Tamarova, Z. A., Limansky, Y. P., and Gulyar, S. A. 2009. "Antinociceptive Effects of Color Polarized Light in Animal Formalin Test Model." *Fiziol. J.* 55 (3): 81-93 (in Russian);
77. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2020. "Analgesic Effects of Constant and Frequency-Modulated LED-Generated Red Polarized Light." *Neurophysiology* 52 (4): 267-78;
78. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2021. "Innovative Light Therapy: 4. Influence of Polarization and Wavelength Range of Light on the Effectiveness of its Pain Relief Action." *J. of US-China Medical Science* 18 (1): 1-19;
79. Cheng, K., Martin, L. F., Slepian, M. J., Amol, M., Patwardhan, A. M., and Ibrahim, M. M. 2021. "Mechanisms and Pathways of Pain Photobiomodulation: A Narrative Review." *J Pain*. 22 (7): 763-77;
80. Gulyar, S. A., and Limansky, Y. P. 2003. "Mechanisms of Primary Reception of Electromagnetic Waves of Optical Range." *Fiziol. J.* 49 (2): 35-44 (in Ukrainian);
81. Gulyar, S. A. 2003. "The Concept of Electromagnetic Balance of the Body and the Environment: The Role of Bioptron Light Therapy." In *Proc. New Technologies—The Way to the Future*. Donetsk: South-East, pp. 108-20 (in Russian);



82. Gulyar, S. A. 2009. "Electromagnetic Ecology and Bioptron Light Therapy Concept: Solved and Non-solved Questions." In Anthology of Light Therapy. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 68-92 (in Russian);
83. Gulyar, S. A. 2018. "Accents of the Human Organism Electromagnetic Balance Regulation System." Photobiol. and Photomed. 24: 52-68;
84. Voronenko, Y. V., Kusnetsova, L. V., Pukhlyk, B. M., and Gulyar, S. A. 2008. Allergology (Manual). Kyiv, pp. 1-366 (in Russian);
85. Kuznetsova, L. V., Babadzhan, V. D., Frolov, V. M., and Gulyar, S. A. 2012. Clinical and Laboratory Immunology. National Manual. Kyiv: Polygraph Plus, pp. 1-922 (in Ukrainian);
86. Gulyar, S. A., Moiseenko, E. V., Sirota, S. S., Grinevch, V. A., and Skudin, V. K. 1979. "Effect of People Stay in Nitrogen-Oxygen Environment at 5-12 kgf/cm² on Certain Indices of Human Higher Nervous Activity." Fiziol. J. 25 (5): 576-84 (in Russian);
87. Gulyar, S. A. 1981. "Mental Performance of a Aquanauts in a Nitrogen-Oxygen Environment under Hyperbaria." In Organization and Adaptation on Brain Functions. Proc. of the School of Young Scientists, Sept. 22-28, 1980, Varna-Sofia, pp. 144-64 (in Russian);
88. Gulyar, S. A. 2002. "Psychomedical, Bioelectromagnetic and Ecological Aspects of Antarctic Deprivation Problem." Bull. Ukr. Ant. Center 4: 231-4 (in Russian);
89. Gulyar, S. A., and Rudenko, I. V. 2002. Method of Generating Signal of Influence on Biological Object and Neutralization of Pathogenic Radiation and Device for Its Implementation. Declaration patent of Ukraine for the invention No. 49253 A issued 16.09.2002, Bull. 9 (in Ukrainian);
90. Korchin, I. A., and Gulyar, S. A. 2004. Light Therapy Device on Polarized Radiation. Patent of Ukraine for the invention No. 68039 A issued 15.07.2004, Bull. 7: 4, 96 (in Ukrainian);
91. Korchin, I. A., and Gulyar, S. A. 2008. The Device of Reflexotherapy Puncture by Polarized Light. Patent of Ukraine for a utility model No. 33577 issued on 25.06.2008, Bull. 12 (in Ukrainian);
92. Gulyar, S. A., and Taranov, V. V. 2019. Therapeutic Irradiation Device. Int. and European Pat. App. PCT/EP2019/079653. Internat Publ WO 2021/083507 A1. Applicant: Fieldpoint (Cyprus) Limited. Filled 30.09.2019, published 16.05.2021;
93. Gulyar, S. A., Limansky, Y. P., and Tamarova, Z. A. 2000. Pain and Bioptron: Treatment of Pain Syndromes by Polarized Light. Kyiv: Zepter, pp. 1-80 (in Russian);
94. Gulyar, S. A., Limansky, Y. P., and Tamarova, Z. A. 2004. Pain and Color (Manual). Kyiv-Donetsk: Biosvet, pp. 1-122 (in Russian);
95. Gulyar, S. A., and Kosakovskiy, A. L., eds. 2006, 2011. Bioptron-PILER-Light Application in Medicine (1st, 2nd ed.) Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 1-152, 1-256 (in Ukrainian and Russian);
96. Gulyar, S. A., and Limansky, Y. P. 2006. Static Magnetic Fields and Their Application in Medicine. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 1-320 (in Russian);
97. Gulyar, S. A. 2009. Anthology of Light Therapy. Medical BIOPTRON Technologies. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 1-1024 (in Ukrainian and Russian);
98. Gulyar, S. A. 2021. Medolight: Basic Healing Effects of LED Device (5th ed.). Kyiv: IMIC, pp. 1-64;
99. Sushko, B. S., Limansky, Y. P., and Gulyar, S. A. 2007. "Action of the Red and Infrared Electromagnetic Waves of Light-Emitting Diodes on the Behavioral Manifestation of Somatic Pain." Fiziol. J. 53 (3): 51-60 (In Ukrainian);
100. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2017. "Analgesic Effects of the Polarized Red+Infrared LED Light." J of US-China Medical Science 14 (2): 47-57;
101. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2017. "Analgesic and Sedative Effects of Blue LED Light in Combination with Infrared LED Irradiation." J of US-China Medical Science 14 (4): 143-56;
102. Koruga, D. 2016. Nanophotonic Filter Based on C₆₀ for Hyperpolarized Light. Int. and European Pat. App. PCT/EP2016/063174. Applicant: Field point, Zepter Group filed June 09, 2016 and issued October 28, 2016;
103. Koruga, D. 2017. Hyperpolarized Light: Fundamentals of Nano Medical Photonics. Belgrade: Zepter World Book, pp. 1-306 (in English and in Serbian);
104. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2017. "Modification of Polychromatic Linear Polarized Light by Nanophotonic Fullerene and Graphene Filter Creates a New Therapeutic Opportunities." J. of US-China Medical Science 14 (5): 173-91;
105. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2018. "Influence of Many-Month Exposure to Light with Shifted Wave Range and Partial Fullerene Hyperpolarization on the State of Elderly Mice." J. of US-China Medical Science 15 (1): 16-25;
106. Gulyar, S. A., Filimonova, N. B., Makarchuk, M. Y., and Kryvdiuk, Y. N. 2019. "Ocular Influence of Nano-Modified Fullerene Light: 1. Activity of Default Networks of the Human Brain." J. of US-China Medical Science 16 (2): 45-54;
107. Gulyar, S. A., Filimonova, N. B., Makarchuk, M. Y., Krivdiuk, Y. N. 2019. "Ocular Influence of Nano-Modified Fullerene Light: 2. Time Correlation of the Choice and Simple Sensorimotor Reactions That Determine Blinding Compensation of the Driver." J. of US-China Medical Science 16 (3): 105-15;
108. Gulyar, S. A., Tamarova, Z. A., and Kirilenko, Y. K. 2019. "Ocular Influence of Nano-Modified Fullerene Light: 3. Speed and Quality of Visual Information Processing in Man." J. of US-China Medical Science 16 (3): 116-33;
109. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2020. "Innovative Light Therapy: 1. Biological Effectiveness of Polychromatic Polarized Light Transmitted through Interference, Absorption and Fullerene Filters." J. of US-China Medical Science 17 (1): 27-36;
110. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2020. "Innovative Light Therapy: 2. Determination of the Biological Contribution of Fullerene, as a Converter of Polarized Light, on a Model of Formalin-Induced Pain." J. of US-China Medical Science 17 (2): 41-59;
111. Gulyar, S. A., and Tamarova, Z. A. 2020. "Peculiarities of the Fullerene-Halogen Light Influence on Inflammatory Pain, Depending on Characteristics of the Light Flux." Medical Informatics and Engineering 2: 28-49 (in Russian);
112. Gulyar, S. A. 2001. "Ways of Peace and Harmony on the Boat 'Princess Olga'." Skipper 1: 55-8 (in Russian);
113. Gulyar, S. A. 2002 "Cossack Ways or Expedition 'Bohun'." Native Nature 3: 30-4 (in Russian);
114. Gulyar, S. A., and Voronov, S. A. 2003. "Along the Great Silk Road on the Svarog Boat." Skipper 6: 50-3. (in Russian);
115. Gulyar, S. Krugov, V., and Khmarov, V. 2003. Photo Chronicle of Travels in Time and Space. Kherson: Nadnipryanochka, pp. 1-12 (in Russian)
116. Gulyar, S. A., Voronov, S. A., Olszanski, R., Siryk, O. A., and Bogush, D. A. 2006. "Influence of Long Insolation during River and Sea Travelling on Open Boats." Actual Problems of Transport Medicine 3 (1): 85-91 (in Russian);
117. Gulyar, S. A., Voronov, S. A., Olszanski, R., Siryk, O. A., and Bogush, D. A. 2009. "The Role of Many Days Influence of Sun Radiation High Doses on Human Organism during River and Sea Traveling on Open Ancient Boats." In Anthology of Light Therapy. Kyiv: Bogomoletz Institute of Physiology of NASU, pp. 414-20 (in Russian);
118. Gulyar, S. A. 2006. "Underwater Traces of Sea Tragedies." All-Ukrainian Magazine about Metal 9 (3-4): 90-4 (in Russian);
119. Gulyar, S. A. 2008. "Lost World in the Depths of the Sea." All about Metal 1: 60-3 (in Russian);
120. Gulyar, S. A. 2020. "Innovative Light Therapy: 3. Correction of the Acute Viral Respiratory Diseases Using Biophysical Capabilities of Bioptron-PILER-Light (Review)." Journal of US-China Medical Science 17 (6): 219-49;
121. www.gulyar.org. (in English, Ukrainian and Russian);
122. Tamarova Z.A., Barats Yu.M. 2022. "Sergiy Gulyar: Vital Progress and Contribution to the Development of Medicine and Physiology". J of US-China Medical Science. 19, 2: 46-66.

Stanisław Skrzyński

Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte 81 – 103 Gdynia 3
ul. Smidowicza 69
tel.: +58 626 27 46,
e-mail: skrzynski@interecho.com

UNDERWATER LASER IMAGING

PODWODNE OBRAZOWANIE LASEROWE

Shelby Metoyer, Darek Bogucki

Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas, United States

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Attenuation of light in the ocean ranges widely depending on the environment and is especially significant in optical remote sensing. Absorption of light by ocean water limits the range light can travel before being extinguished. The complex interactions of scattering light and ocean water often lead to distortions of the signal as it propagates which degrades the quality and accuracy of underwater measurements. Consequently, underwater visibility (i.e. how well an object can be seen with definition at distance) can be less than 1 [m] in turbid and murky environments such as harbors. Advancements in laser imaging systems make highly accurate measurements at further ranges than has previously been possible through temporally filtering of a modulated laser signal at frequencies as high as 1 [GHz]. Here we overview the processes affecting underwater light propagation and visibility, laser imaging systems, recent advancements in the field of underwater optical imaging, and the application of such systems.

Tłumienie światła w oceanie waha się w szerokim zakresie w zależności od środowiska i jest szczególnie istotne w teledetekcji optycznej. Absorpcja światła przez wodę oceaniczną ogranicza zasięg, jaki światło może pokonać, zanim zgaśnie. Złożone interakcje rozpraszania światła i wody oceanicznej często prowadzą do zniekształceń sygnału podczas jego propagacji, co obniża jakość i dokładność pomiarów podwodnych. W związku z tym widoczność podwodna (tj. to, jak dobrze można zobaczyć obiekt z określoną odległością) może być mniejsza niż 1 [m] w mętnych i mętnych środowiskach, takich jak porty. Postępy w laserowych systemach obrazowania umożliwiają bardzo dokładne pomiary w większych zakresach niż było to wcześniej możliwe dzięki czasowemu filtrowaniu modulowanego sygnału laserowego przy częstotliwościach sięgających nawet 1 [GHz]. Tutaj dokonujemy przeglądu procesów wpływających na propagację i widoczność światła podwodnego, systemy obrazowania laserowego, najnowsze postępy w dziedzinie podwodnego obrazowania optycznego oraz zastosowanie takich systemów.

Затухание света в океане изменяется в широком диапазоне в зависимости от окружающей среды и особенно существенно при оптическом дистанционном зондировании. Поглощение света океанской водой ограничивает расстояние, которое свет может пройти, прежде чем он погаснет. Сложное взаимодействие рассеяния света и океанской воды часто приводит к искажению сигнала во время его распространения, что ухудшает качество и точность подводных измерений. Следовательно, подводная видимость (т.е. насколько хорошо виден объект с определенного расстояния) может быть менее 1 [м] в мутных и грязных средах, таких как порты. Достижения в области систем лазерной визуализации позволяют проводить очень точные измерения на более дальних расстояниях, чем это было возможно ранее, благодаря временной фильтрации и модулированному лазерному сигналу на частотах вплоть до 1 [ГГц]. Здесь мы обсудим процессы, влияющие на распространение света под водой и видимость, лазерные системы формирования изображений, последние разработки в области подводной оптики формирования изображений и применение таких систем.

Die Abschwächung des Lichts im Ozean variiert je nach der Umgebung in einem weiten Bereich und ist für die optische Fernerkundung besonders wichtig. Die Absorption des Lichts durch das Meerwasser begrenzt die Reichweite, die das Licht zurücklegen kann, bevor es erloschen scheint. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Lichtstreuung und Meerwasser führen häufig zu Signalverzerrungen während der Übertragung, wodurch die Qualität und Genauigkeit von Unterwassermessungen beeinträchtigt werden. Daher kann die Sichtweite unter Wasser (d. h. wie gut ein Objekt in einer bestimmten Entfernung gesehen werden kann) in einer trüben Umgebung wie z. B. in Häfen weniger als 1 [m] betragen. Die Fortschritte bei den bildgebenden Lasersystemen ermöglichen dank zeitlicher Filterung und modulierter Lasersignale mit Frequenzen von bis zu 1 [GHz] sehr genaue Messungen in größerer Entfernung als bisher. Hier möchten wir die Prozesse erörtern, die die Lichtausbreitung und Sichtbarkeit unter Wasser beeinflussen und auch die neuesten Entwicklungen in der Unterwasseroptik und die Anwendung solcher Systeme berücksichtigen.

La atenuación de la luz en el océano oscila en un amplio rango en función del entorno y es especialmente importante en la teledetección óptica. La absorción de la luz por el agua oceánica limita el alcance que la luz puede recorrer antes de su extinción. Las complejas interacciones de difusión de la luz y el agua oceánica a menudo provocan deformaciones de la señal durante su propagación, lo que empeora la calidad y la precisión de las mediciones subacuáticas. Como consecuencia, la visibilidad subacuática (es decir, lo bien que puede verse un objeto a una determinada distancia) puede ser inferior a 1 [m] en entornos turbios, como los puertos. Los avances en los sistemas de imagen por láser permiten mediciones de una gran precisión en alcances más lejanos de lo que antes era posible gracias al filtrado temporal y una señal láser modulada de frecuencias que llegan hasta 1 [GHz]. Aquí tratamos los procesos que afectan a la propagación y la visibilidad de la luz bajo el agua, sistemas de imagen por láser, los últimos logros en el campo de la óptica subacuática y el empleo de estos sistemas.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 39 – 52

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

DOI: 10.2478/phr-2021-0020

Pages: 14, figures: 5, 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: 16.09.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 27.09.2021 r.



WPROWADZENIE – WIDOCZNOŚĆ W TONI WODNEJ

Widoczność w środowisku morskim stanowi duże wyzwanie, zwłaszcza gdy rozpatruje się załogowe operacje nurkowania podwodnego [1]. Stwierdzono, że widzialność podwodna zdefiniowana w pracy Zanevelda i Pegaua [2] jest odwrotnie skorelowana z tłumieniem światła podczas jego przenikania przez wodę i określona jako: $z = 4:8=c$, gdzie c [m^{-1}] jest współczynnikiem tłumienia [1]. W czystej i nieruchomej wodzie widoczność może być ostro na znacznych odległościach. Jednak ocean składa się z wody wypełnionej związkami chemicznymi, cząstkami stałymi i mikroorganizmami, które przyczyniają się do tłumienia światła, co powoduje, że widoczność gwałtownie spada w porównaniu z czystą wodą; od ponad 1000 [m] w czystej wodzie do około 10-50 [m] w czystym oceanie do mniej niż 1 [m] w mętnej wodzie, takiej jaką spotyka się w portach [3].

Systemy obrazowania podwodnego mogą być wykorzystane do istotnego zwiększenia zasięgu, w którym możliwa jest dokładna identyfikacja obiektów przy słabej widoczności [4]. Potrzeba zwiększenia widoczności pod wodą pojawia się w wielu praktycznych zastosowaniach, takich jak np.:

- Operacje nurkowania, które mogą być wspomagane przez bardzo dokładne obrazowanie miejsca pracy przed rozpoczęciem zanurzania się nurków.
- Wysokiej jakości pomiary szczątków in-situ po huraganach mogą pomóc w uzyskaniu dostępu do zniszczeń i zapewnieniu żeglowności wody.
- Oceaniczne platformy wiertnicze mogą skorzystać z wysoce dokładnych pomiarów w lokalizacji odwiertów i sprzętu, aby zapewnić sprawne prowadzenie działań.
- Korzyści dla wojska w takich dziedzinach jak wojna minowa i operacje specjalne [1].

Jednakże różne zjawiska utrudniają przepływ światła przez wodę. Zjawiska te powodują zniekształcenie, rozmycie, zmniejszenie kontrastu, ograniczenie odległości, jaką może przebyć światło przed jej wygaszeniem (tj. pochłonięciem), itp.

W celu poprawy podwodnego obrazowania optycznego w mediach rozpraszających opracowano kilka technik, które można zasadniczo podzielić na trzy podstawowe obszary: filtrowanie przestrzenno-czasowe, detekcja wrażliwa na polaryzację oraz time gating. [5].

W niniejszej pracy skupiliśmy swoją uwagę na pierwszej metodzie, w której technika redukcji rozproszenia wstecznego jest archiwizowana poprzez filtrację częstotliwościową impulsu optycznego modulowanego na częstotliwościach mikrofalowych. Schemat detekcji podwodnej zapewnia poprawę o rzędy wielkości w stosunku do obecnie istniejącego podwodnego systemu obrazowania laserowego lub lidarowego. Poniżej przedstawiamy przegląd systemów obrazowania z wykorzystaniem modulowanego lasera w zastosowaniach podwodnych.

INTRODUCTION - UNDERWATER VISIBILITY

Visibility in the marine environment presents a great challenge, especially when manned underwater diving operations are considered [1]. Underwater visibility, z [m] defined in Zaneveld and Pegau [2] was found to be inversely correlated with the attenuation of light as it passes through the water and given as: $z = 4:8=c$, where c [m^{-1}] is the attenuation coefficient [1]. In pure and still water visibility can be sharp over long distances. However, the ocean consists of water filled with chemical compounds, particulate, and micro-organisms that contribute to the attenuation of light that causes visibility to drop sharply from that of pure water; from over 1000 [m] in pure water to around 10-50 [m] in the clear ocean to less than 1 [m] in murky water such as harbors [3].

Underwater imaging systems can be used to drastically increase the range at which objects can be accurately identified when visibility is low [4]. The need to enhance underwater visibility arises in many practical applications such as:

- Diving operations that can be aided by highly accurate imaging of the work-site before divers are submerged.
- High-quality measurements of in-situ debris after hurricanes can help access damage and water navigability.
- Oceanic oil platforms can benefit from highly accurate measurements of the drilling location and equipment to ensure smooth operations.
- The military benefits in areas such as mine warfare and Special Operations [1].

However, various phenomena impede light as it moves through the water. These phenomena have the effects of distorting, blurring, reducing contrast, limiting the distance the light can travel before being extinguished (i.e. absorbed), etc.

Several techniques have been developed for improving underwater optical imaging in scattering media and they are roughly grouped into three basic areas: spatial/temporal filtering, polarization-sensitive detection, and time gating [5].

In this paper, we have focused our attention on the first method, where the backscatter reduction technique is achieved by frequency filtering of an optical pulse modulated at microwave frequencies an underwater detection scheme provides orders of magnitude improvement over the presently-existing underwater laser or lidar imaging system. Here we present an overview of the modulated laser imaging systems in underwater applications.

PROCESSES AFFECTING UNDERWATER LIGHT PROPAGATION AND VISIBILITY

Any active optical imaging system consists of a light transmitter, a target, and an optical receiver. The transmitter illuminates the target and the light collected by the receiver carries information about the target. The range at which light can travel before being extinguished, and thus the range of aquatic imaging system, is directly determined by the amount of light scattering and absorption [6]. Typically before the range at which an object is no longer visible is reached, the contrast and

PROCESY WYPŁYWAJĄCE NA PROPAGACJĘ ŚWIATŁA POD WODĄ I WIDOCZNOŚĆ

Każdy aktywny system obrazowania optycznego składa się z nadajnika światła, obiektu i odbiornika optycznego.

Nadajnik oświetla obiekt, a światło zebrane przez odbiornik przenosi informacje o nim. Zasięg, jaki może przebyć światło przed zanikiem, a tym samym zasięg systemu obrazowania wodnego, jest bezpośrednio określany przez wielkość rozproszenia i absorpcji światła [6]. Zazwyczaj przed osiągnięciem zasięgu, przy którym obiekt przestaje być widoczny, kontrast i rozdzielczość, ulegają degradacji [7].

Ogólnie rzecz ujmując, absorpcja zmniejsza ilość odbieranego światła, odbicie lasera od obiektu skutkuje niskim zwrotem (w stosunku do mocy lasera), światło otoczenia zmniejsza kontrast, natomiast rozpraszanie ma wpływ na zmniejszenie kontrastu spowodowane składową rozpraszania wstecznego oraz efekt rozmycia spowodowany składową rozpraszania wyprzedzającego.

Bardziej ilościowy wgląd w efekty absorpcji i rozpraszania można uzyskać analizując teorię transferu promieniowania (RT) opisującą niezależną od czasu propagację wiązki światła.

MATEMATYCZNY OPIS PROPAGACJI ŚWIATŁA POD WODĄ – TEORIA RT

Teorię RT można wyrazić w polarnym układzie współrzędnych, gdzie wektor jednostkowy $\hat{\xi}$ wskazuje kierunek lasera z $(\theta, \phi) \in \Xi$, gdzie Ξ jest zbiorem wszystkich kątów biegunowych. Wiązka światła rozchodzi się po kacie bryłowym w kierunku wektora jednostkowego $\Delta\Omega(\hat{\xi})$. Zestaw równań wywodzących się z równań Maxwella wyrażony w kategoriach wektora Poyntinga prowadzi do równania transferu promieniowania [8] podanego jako:

$$\cos\theta \frac{dL(z, \hat{\xi}, \lambda)}{dz} = -c(z, \lambda)L(z, \hat{\xi}, \lambda) + \int_{\Xi} L(z, \hat{\xi}', \lambda)\beta(z, t, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda)d\Omega(\hat{\xi}') + S(z, \hat{\xi}, \lambda) \quad [\text{Wm}^{-3}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}] \quad (1)$$

Zależność 1 przedstawia standardową postać równania transferu promieniowania (RTE) dla niespolaryzowanego promieniowania monochromatycznego regulującego przestrzenne zachowanie promieniowania $L = L(\vec{x}, \hat{\xi}, \lambda)$ $[\text{W m}^{-3} \text{st}^{-1} \text{nm}^{-1}]$ zapisanego w kategoriach głębokości (z) [9]. Poniżej omówiono istotne cechy równania RTE. Składowa S $[\text{W m}^{-3} \text{st}^{-1} \text{nm}^{-1}]$ jest funkcją źródła, tj. źródła światła, np. laseru.

Wyrażenie $-cL$ (r. 1) oznacza stratę spowodowaną tłumieniem na dystansie L. Wreszcie, środkowe wyrażenie $\int_{\Xi} L\beta d\Omega$ podaje ilość wstecznego rozpraszania objętościowego (Rys. 1).

resolution, are degraded [7].

In general, absorption decreases the amount of light received, the reflection of the laser of the target yields a weak return (relative to laser power), ambient light reduces contrast, while scattering has the effect of decreasing the contrast caused by the backscattering component and a blurring effect caused by the forwarding scattering component.

More quantitative insight into the effects of absorption and scattering can be gained from analyzing the Radiative Transfer (RT) theory describing time-independent light beam propagation.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF UNDERWATER LIGHT PROPAGATION-RT THEORY

The RT theory can be conveniently expressed in a polar coordinate system where the unit vector $\hat{\xi}$ points in the direction of the laser with $(\theta, \phi) \in \Xi$, where Ξ is the set of all polar angles. The light beam propagates over the solid angle in the direction of the unit vector $\Delta\Omega(\hat{\xi})$. A set of equations derived from Maxwell's equations when expressed in terms of the Poynting vector leads to the Radiative

Transfer Equation [8] given as:

$$\cos\theta \frac{dL(z, \hat{\xi}, \lambda)}{dz} = -c(z, \lambda)L(z, \hat{\xi}, \lambda) + \int_{\Xi} L(z, \hat{\xi}', \lambda)\beta(z, t, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda)d\Omega(\hat{\xi}') + S(z, \hat{\xi}, \lambda) \quad [\text{Wm}^{-3}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}] \quad (1)$$

Eq. 1 represents the standard form of the Radiative Transfer Equation (RTE) for unpolarized monochromatic radiance governing the spatial behavior of radiance $L = L(\vec{x}, \hat{\xi}, \lambda)$ $[\text{W m}^{-3} \text{st}^{-1} \text{nm}^{-1}]$ written in terms of depth (z) [9]. The RTE essential features are discussed below. The component S $[\text{W m}^{-3} \text{st}^{-1} \text{nm}^{-1}]$ is the source function that is the source of light e.g. a laser.

The expression $-cL$ (Eq. 1) is the loss due to attenuation over pathlength L. Lastly, the middle expression $\int_{\Xi} L\beta d\Omega$ gives the contribution of volumetric backscattering (Fig. 1).

A basic property that affects the radiant light field, L, is the total attenuation coefficient [9]:

$$c(z, \lambda) = a(z, \lambda) + b(z, \lambda) \quad (2)$$

Podstawową właściwością, która wpływa na pole promieniowania świetlnego, L , jest współczynnik tłumienia całkowitego [9]:

$$c(z, \lambda) = a(z, \lambda) + b(z, \lambda) \quad (2)$$

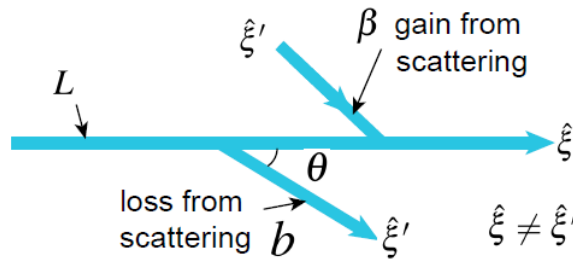


Fig. 1 Illustration of the changes in the radiant light field L . Scattering b attenuates L by scattering light from $\hat{\xi}$ to $\hat{\xi}'$ while also adding to the signal through volumetric scattering $\beta(z, t, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda)$ as light is scattering from $\hat{\xi}$ to $\hat{\xi}'$.

Rys. 1 Ilustracja zmian pola promieniowania świetlnego L . Rozpraszanie b tłumia L poprzez rozproszenie światła od $\hat{\xi}$ to $\hat{\xi}'$ a jednocześnie wzmacnia sygnał poprzez rozpraszanie objętościowe $\beta(z, t, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda)$ gdy światło rozpraszają się od $\hat{\xi}$ to $\hat{\xi}'$.

które składa się z absorpcji a i rozpraszania sprężystego b . Odległość na jaką światło średnio propaguje zanim zostanie rozproszone, zwana średnią długością ścieżki światła, jest dana przez odwrotność współczynnika tłumienia:

$$\ell \equiv \frac{1}{c} \quad (3)$$

Tłumienie zmniejsza całkowity sygnał wykładniczo podczas przechodzenia przez nierozpraszający ośrodek jednorodny i stanowi najprostsze rozwiązanie dla RTE (rów. 1):

$$I = I_0 e^{-cz} [\text{Wm}^{-1} \text{sr}^{-1}] \quad (4)$$

Jednak dla pełnego opisu absorpcja i rozpraszanie muszą być uwzględnione niezależnie.

Zazwyczaj absorpcja jest zmienna przestrzennie i zależy od właściwości ośrodka, przez który porusza się światło [10]. Prawdopodobieństwo, że cząstka nie zostanie pochłonięta wynosi $1/e$ (63% cząstek zostaje pochłoniętych), co określa długość tłumienia i jest równe ℓ (rów. 3). Funkcja rozpraszania objętościowego (lub β) zależy od kąta $\hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}$ i jest zdefiniowana jako [9]:

$$\beta(z, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda) \equiv \frac{L_*^E(z, \hat{\xi}, \lambda)}{L(z, \hat{\xi}', \lambda) \Delta\Omega(\hat{\xi}')} [\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}] \quad (5)$$

Wartość b określona przez zależność 5, definiuje rozkład widma rozpraszającego się w objętości, który może być następnie skonceptualizowany jako stosunek rozpraszania elastycznego (L_*^E) do napromieniowania padającego ($L\Delta\Omega$).

which consist of the absorption a and elastic scattering b . The distance light will propagate on average before experiencing scatter, called the mean path-length, is given by the inverse of the attenuation coefficient:

$$\ell \equiv \frac{1}{c} \quad (3)$$

Attenuation decreases the total signal exponentially as it passes through a non-scattering homogenous medium and represents the simplest solution to the RTE (Eq. 1):

$$I = I_0 e^{-cz} [\text{Wm}^{-1} \text{sr}^{-1}] \quad (4)$$

However, for a complete description absorption and scattering must be accounted for independently.

Typically the absorption is spatially varying and is dependent upon the properties of the medium light moving through [10]. The probability that a particle is not absorbed is equal to $1/e$ (63% of particles absorbed) defines the attenuation length and is equal to ℓ (Eq. 3). Volume Scattering Function (or β) depends on angle $\hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}$ and is defined as [9]:

$$\beta(z, \hat{\xi}' \rightarrow \hat{\xi}, \lambda) \equiv \frac{L_*^E(z, \hat{\xi}, \lambda)}{L(z, \hat{\xi}', \lambda) \Delta\Omega(\hat{\xi}')} [\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}] \quad (5)$$

The b given by Eq. 5, defines the distribution of the spectra scattering in a volume that can then be conceptualized as the ratio of elastic scattering (L_*^E) over the incident irradiance ($L\Delta\Omega$).

If we consider the scattering to be circularly symmetric then scattering depends only on angle θ relative to its direction of travel. The scattering coefficient

Jeśli uznamy, że rozpraszanie jest symetryczne kołowo, to rozpraszanie będzie zależać tylko od kąta θ względem kierunku ruchu. Współczynnik rozpraszania składa się z całego rozproszenia w każdym kierunku, wyrażonego w postaci całki:

$$b = 2\pi \int_0^\pi \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (6)$$

Typowe oceaniczne β jest przedstawione na Rys. 2 z podwyższoną wartością β przy bardzo małych lub dużych kątach rozpraszania.

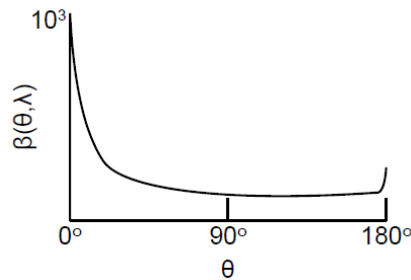


Fig. 2. Sketch of a typical distribution of volumetric scattering $\beta(\theta, \lambda)$ in a scattering medium - Note small scattering angles dominate (forward scattering) and an increase at 180° (back scattering).

Rys. 2 Schemat typowego rozkładu rozpraszania objętościowego $\beta(\theta, \lambda)$ w ośrodku rozpraszającym – Uwaga: dominują małe kąty rozpraszania (rozpraszanie do przodu) i wzrost przy 180° (rozpraszanie wsteczne).

Aby zrozumieć efekt zmienności kątowej β i zauważając, że z równania 1 wynika, że $L(z)$ jest liniowe względem $\beta d\theta$ możemy rozdzielić udział rozpraszania cząstek $L(z)$ na kierunki do przodu, do boku i do tyłu względem pierwotnej ścieżki fotonu jako:

$$b_f = 2\pi \int_0^{10^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (7)$$

$$b_s = 2\pi \int_{10^\circ}^{170^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (8)$$

$$b_b = 2\pi \int_{170^\circ}^{180^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (9)$$

Z powyższych równań wynika, że $b = b_f + b_s + b_b$ (rów. 6-9), gdzie rozpraszanie w przód (b_f) to kąty z zakresu 0°-10°, (b_s) to kąty z zakresu 10°-170°, a (b_b) to kąty z zakresu 170°- 180°. Wybór ograniczenia małego kąta do 10° jest nieco arbitralny i podyktowany głównie dostępnymi obserwacjami.

Nasze wnioski byłyby stosunkowo mało wrażliwe na wybór tego kąta i pozostałyby takie same, gdybyśmy wybrali ograniczający mały kąt np. 1°. Prawdopodobieństwo rozproszenia jest proporcjonalne do $\beta(\theta, \lambda)$ (rów. 6). Zatem, rozpraszanie do przodu (< 10°) jest zwykle o rzędy wielkości bardziej prawdopodobne aniżeli rozpraszanie do boku (90°) lub do tyłu (180°) [11].

Taki podział efektów rozpraszania pozwala na zbadanie wkładu rozpraszania z różnych typów rozpraszania, które mają różny efekt (np. stosunek

consists of all the scattering over every direction expressed as the integral:

$$b = 2\pi \int_0^\pi \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (6)$$

The typical oceanic β is presented in Fig 2 with elevated β at either very small or large scattering angles.

To understand the effect of the β angular variability, and noting that the Eq. 1 the $L(z)$ is linear in respect to $\beta d\theta$ we then can separate particle scattering contribution to $L(z)$ as forward, side, and back directions in respect to the original photon path as:

$$b_f = 2\pi \int_0^{10^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (7)$$

$$b_s = 2\pi \int_{10^\circ}^{170^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (8)$$

$$b_b = 2\pi \int_{170^\circ}^{180^\circ} \beta(\theta, \lambda) \sin \theta d\theta \quad (9)$$

From the equations above $b = b_f + b_s + b_b$ (Eq. 6-9) where forward scattering (b_f) is angles from 0°-10°, (b_s) is angles from 10°-170°, and (b_b) is angles from 170°-180°. The choice of limiting a small angle to 10° is somewhat arbitrary and is mostly dictated by available observations.

Our conclusions would be relatively insensitive to the choice of that angle and would remain the same if we would have chosen a limiting small angle for example 1°. The probability of scattering is proportional to $\beta(\theta, \lambda)$ (Eq. 6). Therefore, forward scattering (< 10°) is typically orders of magnitude more likely when compared to side (90°) or back (180°) scattering [11].

That partitioning of scattering effects allows to examine the contributions of scattering from the different types of scattering which have different effects (e.g. the ratio of backscatter to total scattering b_b/b is the ratio of



rozpraszania wstecznego do całkowitego rozpraszania $b_b=b$ to stosunek rozpraszania do przodu do rozpraszania wstecznego $b_f=b_b$).

Ponadto, możemy również zbadać średnią drogę swobodną, jaką pokona światło zanim zostanie poddane rozproszeniu do przodu, do boku lub do tyłu (np.

$\ell_f = 1/b_f$). Aby zrozumieć propagację światła, musimy scharakteryzować kierunek światła i jego natężenie w każdej lokalizacji. To promieniujące pole świetlne może zmieniać się w przestrzeni, czasie i długości fali w oceanie w zależności od składu oceanu, który jest bardzo zróżnicowany (od zawartości soli do mikroorganizmów). Cząstki te przyczyniają się do absorpcji, refrakcji, odbicia, rozproszenia i depolaryzacji (i nie tylko) światła, które wchodzi z nimi w interakcję.

Jeśli nie uwzględnimy polaryzacji lub uznamy, że polaryzacja jest przypadkowa, to absorpcja (rów. 4), rozpraszanie (rów. 6) i rozpraszanie objętościowe (rów. 5) będą pełnym opisem właściwości optycznych ośrodka jednorodnego [3].

Oganiczeniem naszego zrozumienia jest fakt, że istnieje bardzo niewiele rozwiązań RTE o zamkniętej formie. Prowadzi to wielu badaczy do poszukiwania rozwiązań numerycznych [12] lub pomiarów eksperymentalnych [4] w poszukiwaniu charakteru transferu światła przez środowisko morskie.

WPLYW ABSORPCJI I ROZPRASZANIA POD WODĄ NA OBRAZ OBIEKTU

EFEKTY ABSORPCJI

Absorpcja fotonów światła przez cząsteczki wody i partykuły znajdujące w wodzie przyczynia się do obniżenia całkowitego poziomu sygnału rejestrowanego w odbiorniku [6]. Efekt absorpcji można do pewnego stopnia złagodzić, dobierając długość fali światła laserowego tak, aby znajdowała się w obszarze niebiesko-zielonym i/lub zwiększając moc lasera. Zaabsorbowane fotony są bezpowrotnie tracone, a więc nie wnoszą wkładu do odbieranego sygnału. Jednakże, propagacja światła przez ocean jest ograniczona przez procesy fizyczne poza absorpcją.

EFEKTY ROZPRASZANIA WSTECZNEGO

Rozpraszanie wsteczne cząstek [6] występuje, gdy transmitowane światło odbija się od cząstek unoszących się w wodzie: mikroorganizmów, zanieczyszczeń, substancji rozpuszczonych.

W większości przypadków energia wstecznie rozproszona dociera do detektora nie docierając do obiektu. Zatem światło wstecznie rozproszone przez cząstki nie zawiera informacji o obiekcie i zmniejsza kontrast i rozdzielczość obrazu oraz precyzję pomiaru odległości od obiektu.

EFEKTY ROZPRASZANIA DO PRZODU

Rozpraszanie do przodu występuje w wyniku interakcji światła z cząstkami zawieszonymi w wodzie i turbulencjami tła.

Światło rozproszone do przodu zawiera zakodowaną informację o odległości i lokalizacji obiektu ze względu na dłuższą drogę i odchylenie. Efekty rozpraszania do przodu na drodze pojedynczego fotonu zilustrowano na Rys. 3.

forward scattering to backscattering $b_f=b_b$). Moreover, we can also examine the mean free path light will travel before experiencing forward, side, or backscattering (e.g.

$\ell_f = 1/b_f$). For an understanding of the propagation of

light, we need to characterize the light direction and its intensity at every location. This radiant light field can vary over space, time, and wavelength in the ocean dependent upon the contents of the ocean which vary widely (from salt content to micro-organisms). These particulates contribute to the absorption, refraction, reflection, scattered, and depolarization (and more) of the light that interacts with them.

If we don't consider polarization or consider the polarization to be random then absorption (Eq. 4), scattering (Eq. 6), and the volumetric scattering (Eq. 5) are a complete description of the inherent optical properties of a homogeneous medium [3].

Limiting our understanding is the fact that there is a very few closed-form RTE solutions. This leads many researchers to seek numerical solutions [12] or experimental measurements [4] to characterize the nature of the light transfer through the marine environment.

EFFECT OF ABSORPTION AND SCATTERING UNDERWATER ON THE TARGET IMAGE

EFFECTS OF ABSORPTION

The absorption of the light photons by the water molecules and particles in the water contributes to a decrease in the total signal level collected at the receiver [6]. The effect of absorption, up to point, can be mitigated by selecting the wavelength of the laser light to be in the blue-green region and/or increasing laser power. The absorbed photons are irreversible lost and thus do not contribute to the received signal. However, the propagation of light through the ocean is limited by physical processes beyond absorption.

EFFECTS OF BACK SCATTERING

Particle backscattering [6] occurs when transmitted light is reflected off a particulate floating in water: micro-organisms, pollutants, dissolved matter.

In most cases, the backscattered energy reaches the detector without reaching the object. Thus, backscattered by particle light contains no information regarding the object and it reduces the image contrast and resolution as well as the object ranging measurement accuracy.

EFFECTS OF FORWARD SCATTERING

Forward scattering occurs due to the light interacting with water-suspended particulate and background turbulence.

Forward scatter light contains scrambled information about the distance and location of the target due to its longer path length and deflection. The effects of forward scattering on a single photon path are illustrated in Fig 3.

Here the photon light trajectory due to forward scattering is changed by a small angle, typically ($\ll 10^\circ$), with respect to its original trajectory before the forward

W tym przypadku trajektoria światła fotonu w wyniku rozpraszania do przodu zmienia się o mały kąt, zazwyczaj ($\ll 10^0$), w stosunku do jego pierwotnej trajektorii przed rozpoczęciem rozpraszania do przodu.

scattering event.

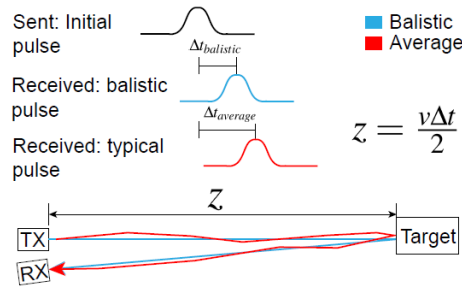


Fig. 3 A modulated pulse of laser light emitted and received by a transmitter (TX) and receiver (RX) has a phase difference equivalent to the time difference (Δt) (shown in blue) whereby the distance to the target (z) can be calculated given the velocity of light through the medium (v). However, if multiple scattering occurs the time difference will result in a longer return time (shown in red).

Rys. 3. Modulowany impuls światła laserowego emitowany i odbierany przez nadajnik (TX) i odbiornik (RX) ma różnicę faz równoważną różnicy czasu (Δt) (zaznaczonej kolorem niebieskim), dzięki której można obliczyć odległość do obiektu (z), biorąc pod uwagę prędkość światła przez ośrodek (v). Jednakże, w przypadku występowania wielokrotnego rozpraszania, różnica czasu spowoduje dłuższy czas powrotu (zaznaczony kolorem czerwonym).

W środowisku oceanicznym, część funkcji rozpraszania objętościowego w kierunku do przodu, β , jest napędzana przez oddziaływanie światła z turbulentnymi niejednorodnościami współczynnika załamania wody wg Boguckiego i wsp. [13], powstającymi głównie jako efekt fluktuacji temperatury wody.

Te spowodowane przez turbulencje niejednorodności są bardzo efektywnymi rozpraszaczami światła przy kątach bliższych przodu. W akwacyjnych pomiarach VSF Boguckiego i wsp. [14] udokumentowano, że w zakresie promieni od $\theta_1 = 10^{-7}$ do $\theta_2 = 10^{-3}$, współczynnik rozpraszania b_{turb} spowodowany wyłącznie przez turbulentne niejednorodności (określony jako: $b_{turb} = 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} VSF(\theta) \sin(\theta) d\theta$), może łatwo osiągnąć wartość $b_{turb} = 10\text{m}^{-1}$. Tak duża wartość b_{turb} implikuje, że średnia długość drogi fotonu pomiędzy zdarzeniami rozpraszającymi ℓ_{turb} na turbulentnych niejednorodnościach wynosi około kilku centymetrów, ponieważ $\ell_{turb} \approx 1/b_{turb}$. Ta długość ścieżki jest znacznie krótsza od typowej średniej długości ścieżki, co wynika z rozpraszania przez cząstki, i wynosi od kilku do kilkudziesięciu metrów, Mobley [8]. W związku z tym większość fotonów wykrytych przez lidar lub skaner laserowy ulega wielokrotnemu rozpraszaniu w przód z powodu wydarzeń turbulentnych oraz rozpraszaniu w tył, a także pojedynczemu rozpraszaniu w tył na obiekcie lub na cząstkach zawieszonych w wodzie.

Wykorzystując tę wiedzę na temat interakcji światła ze środowiskiem wodnym, możliwe jest zaprojektowanie systemów, które pozwolą wyeliminować redukcję sygnału przez zdarzenia związane z rozpraszaniem elastycznym.

W jaki sposób te fizyczne ograniczenia są pokonywane przez nowoczesne podwodne systemy obrazowania i jak te systemy działają, przedstawiono w poniższych sekcjach.

In the oceanic environment, the near-forward part of the oceanic volume scattering function, β , is driven by an interaction of light with turbulent inhomogeneities of the water refractive index Bogucki et al. [13], arising mostly as the effect of water temperature fluctuations.

These turbulent-induced inhomogeneities are very effective light scatterers at near-forward angles. It has been documented in aquatic VSF measurements of Bogucki et al. [14] that in the range of $\theta_1 = 10^{-7}$ to $\theta_2 = 10^{-3}$ rad, the scattering coefficient b_{turb} exclusively due to turbulent inhomogeneities (defined as: $b_{turb} = 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} VSF(\theta) \sin(\theta) d\theta$) can easily attain value of $b_{turb} = 10\text{m}^{-1}$. Such large value of the b_{turb} , implies that the photon mean pathlength between scattering events ℓ_{turb} on turbulent inhomogeneities is around few centimeters, since $\ell_{turb} \approx 1/b_{turb}$. That path length is much shorter than the typical mean path length due to scattering by particles which is around a few meters to tens of meters Mobley [8]. Consequently, most of the lidar or laser line scanner detected photons undergo many multiple forward scattering on turbulence events and a single backscattering event on a target or water-suspended particle.

Using this knowledge of light interaction with the aquatic environment, it is possible to design systems that can overcome signal reduction by elastic scattering events.

How these physical limitations are overcome by modern underwater image systems and how these systems work are described in the sections below.

LASER IMAGE SYSTEMS (LIS) IN AQUATIC APPLICATIONS

Typically image systems use moveable mirrors to steer the laser beam. The steering of the beam can be onedimensional (with the motion of the system contributing to the other dimension) as inside a laser

LASEROWE SYSTEMY OBRAZOWANIA (LIS) W ZASTOSOWANIACH WODNYCH

Zazwyczaj systemy obrazowania wykorzystują ruchome lustro do kierowania wiązką laserową. Sterowanie wiązką może być jednowymiarowe (z ruchem układu współtworzącym drugi wymiar), jak w drukarce laserowej, lub tylko dwuwymiarowe. Synchronicznie odbierane informacje z systemu LIS są zwykle przechowywane jako obraz obiektu. Minimalna absorpcja wody zachodzi przy długości fali światła rzędu 418 [nm] ze współczynnikiem absorpcji 0:0044 [m⁻¹] [10]. Dlatego światło używane do przechwytywania obrazów podwodnych wykazuje tendencję do niebiesko-zielonego obszaru widma w pobliżu minimum.

Obraz powstały po wyemitowaniu i uchwyceniu światła składa się ze światła bezpośredniego, które zostało odbite od obiektu (światło zawierające prawidłową metryczną funkcję rozpraszania odległości i położenia (rów. 5), które nie oddziaływało z obiektem (zmniejsza kontrast), oraz składowej rozpraszania objętościowego w przód (rozmywa obraz).

Rozmieszczenie LIS (szczególnie w głębokim oceanie) wymaga stabilnej platformy. Okręty podwodne marynarki wojennej są idealnym rozwiązaniem dla tej technologii ze względu na stabilność, możliwość zasilania i prawie nieograniczoną głębokość, jak podaje na przykład MacDonald i wsp. [15], którzy zainstalowali system LSS na okręcie podwodnym US Navy NR-1. Na tej idealnej platformie LIS był w stanie zebrać 40 [m] smug światła, które następnie można było zmozaikować w obraz obejmujący 1 [km²] powierzchni. Podczas 11-dniowej misji NR-1 była w stanie zebrać obrazy z dokładnością do centymetra przedstawiające [15]; dwa urządzenia wiertnicze znajdujące się na głębokości 450 i 650 [m], chemosyntetyczne ślimaki rurowe znajdujące się w naturalnych wyciekach ropy naftowej, basenu solankowego otoczonego przez metanotroficzne małże, aktywnego wulkanu błotnego oraz 50 [km] rurociągu. Postęp w zakresie mocy obliczeniowej i akumulatorowej sprawił, że LIS może być rozmieszczony na zwykłych rozmiarów pojazdach typu AUV [16], a nie na okrętach podwodnych o napędzie jądrowym.

Korzyści płynące z dostępności tej technologii dla wszystkich nauk o oceanach, poszukiwań ropy i gazu w oceanach oraz dla wojska mogą być wymierne.

Szczegółowe mapy topografii oceanu na poziomie milimetrycznym, takie jak nachylenie dna oceanicznego i nierówności podłoża, mogą być gromadzone do użytku wszystkich zainteresowanych stron [17]. Mapowanie rurociągów naftowych, jak zauważa [15], mogłoby być wykorzystane do ustalenia przebiegu prądów pod rurociągiem, jak również mapy dna do wykorzystania w operacjach wiertniczych.

Inne zastosowania obejmują te związane z operacjami nurkowymi, szczególnie tam, gdzie chodzi o precyzyjne narzędzia i naprawy, gdzie dokładne pomiary i stan terenu prac mogą być krytyczne, takie jak; zakres uszkodzeń, potencjalne zagrożenia i rozmiar armatury.

LINIOWE SKANERY LASEROWE (LLS)

Aby zniwelować skutki rozpraszania wąskie źródło (np. laser) i odbiornik (np. wychwytuje światło pochodzące z wąskiego kierunku) zmniejszają jednocześnie ilość emitowanego i odbieranego światła

printer, or just two-dimensional. The synchronously received information from a LIS system is typically stored as an image of the target. The minimum water absorption happens at wavelengths of light around 418 [nm] with an absorption coefficient of 0:0044 [m⁻¹] [10]. Therefore, the light used to capture underwater images tend toward the blue-green area of the spectrum near the minimum.

The image formed after the light is emitted and captured consists of the direct light that was reflected off the target (light containing correct distance and location metric scattering function (Eq. 5) that's had no interaction with the target (reduces contrast), and a forward scattering component of the volumetric scattering (blurs image).

Deployment of LIS (particularly in the deep ocean) requires a stable platform. Navy submarines make a very ideal choice for this technology due to their stability, power supply, and nearly unlimited depth, such as MacDonald et al. [15] who mounted an LSS on the US Navy Submarine NR-1. On this ideal platform, the LIS was able to collect 40 [m] swaths which can be mosaicked into a 1 [km²] image. NR-1 during her 11-day mission was able to collect centimeter-level accurate images of [15]; two drilling templates located at 450 and 650 [m] depths, chemosynthetic tube worms located at natural oil seeps, a brine pool surrounded by methanotrophic mussels, an active mud volcano, and 50 [km] of a pipeline.

Advances in computing and battery power made it possible for LIS to be deployable on common-sized AUV [16] rather than a nuclear submarine.

The benefits of the accessibility of this technology to all ocean sciences, ocean oil and gas exploration, and the military could be substantial. Detailed millimeter-level accurate maps of ocean topography can be collected for use by all parties, such as the ocean floor slope and surface roughness [17]. Mapping of oil pipelines, as noted by [15], could be used to determine where currents are running under the pipeline as well as maps of the floor for use in drilling operations.

Other applications include those relating to diving operations, particularly where precise tools and repairs are concerned, where accurate measurements and the condition of the work site can be critical such as; the extent of damage, potential hazards, and the size of fittings.

LASER LINE SCANNERS (LLS)

To mitigate the effects of scattering both a narrow source (e.g. laser) and receiver (e.g. captures the light coming from a narrow direction) both decrease the amount of scattered light emitted and received [3]. This realization has led to the development of Laser line scanners (LLS) for use in underwater imaging. LLS uses a Continuous Wave (CW) laser that systematically and synchronously scans a target area. The reflected light from the target is detected by a light sensor. To overcome the limitations of attenuation (Eq. 4) LLS systems used underwater need a powerful laser to achieve a sufficient return.

LIDAR METHODS

By use of the lidar methods, it is possible to gather distance information about the imaging target. The method works by modulating a pulsed laser within the microwave band and extracting the modulations after

rozproszonego [3]. Realizacja tego założenia doprowadziła do opracowania laserowych skanerów liniowych (LLS) do zastosowania w obrazowaniu podwodnym. LLS wykorzystuje

laser o fali ciągłej (CW), który systematycznie i synchronicznie skanuje obszar docelowy. Odbite od niego światło jest wykrywane przez czujnik światła. By pokonać ograniczenia związane z tłumieniem (rów. 4), systemy LLS stosowane pod wodą potrzebują mocnego lasera, by osiągnąć wystarczający zwrot.

METODY LIDAROWE

Dzięki zastosowaniu metod lidarowych możliwe jest zebranie informacji o odległości od obrazowanego obiektu. Metoda działa poprzez modulację lasera impulsowego w paśmie mikrofalowym i wyodrębnienie modulacji po jej odbiorze.

Wyodrębniona modulacja ze zwróconego światła może być mierzona względem fazy impulsu początkowego, dzięki czemu można określić przesunięcie czasowe i obliczyć odległość (Rys. 3). Jednakże, jeżeli dochodzi do wielokrotnego rozpraszania, różnica czasowa spowoduje błąd w pomiarach odległości (Rys. 3).

System lidarowy może być bardzo przydatny w środowiskach rozpraszających, ponieważ brakuje on wsteczne rozpraszanie w bliskim polu poprzez synchronizację impulsu źródła światła z otwarciem i zamknięciem bramki elementu detekcyjnego [5]. Jednakże bramkowanie musi być bardzo szybkie, ponieważ efekty rozpraszania są znaczące.

Biorąc pod uwagę, że światło przemieszcza się w oceanie z prędkością 22,5 cm/ns, potrzebne są impulsy nanosekundowe, aby uzyskać zakres dokładności 10 s centymetrów w najbardziej zmętnionej wodzie [3]. W przykładzie opracowanym przez Churnside i wsp. [18] wykorzystano laser o długości fali 532 [nm] o mocy 600 [mJ] i bramkę o zmiennym zasięgu, która mogła obrazować światło od 3 [ns] do 100 [ps] podczas emisji.

Stosując tę metodę możliwe jest wyeliminowanie większości rozpraszania tylnego, co poprawia jakość obrazu i zasięg urządzenia.

Konfiguracja podwodna składa się z wąskiego niebiesko-zielonego lasera o dużej mocy i wąskiego odbiornika, który jest w stanie otworzyć bramkę na poziomie rzędu pikosekund po wyemitowaniu impulsu. Jednakże, jeśli działanie podwodnego systemu LIS odbywa się w wodach przybrzeżnych, gdzie tłumienie ma tendencję do dominacji rozpraszania, wówczas wynikowe obrazowanie będzie słabej jakości z powodu nadmiernego rozmycia i zmniejszenia kontrastu, który maleje. Woda mętna, z dużą koncentracją cząstek stałych i przy stosunkowo mniejszym udziale przepływów turbulentnych w rozpraszaniu do przodu, może prowadzić do zniekształcenia i rozmycia obrazów [19].

POPRAWA ZASIĘGU DETEKCYJ LLS – FILTROWANIE PRZESTRZENNE/CZASOWE

Rozwiązaniem poprawiającym zasięg detekcji LIS jest hybrydowy lidar-radar, którego działanie polega na filtrowaniu światła docierającego do odbiornika RX w taki sposób, że otrzymany sygnał możemy rozdzielić na światło bezpośrednio odbite od obiektu (składowa balistyczna) oraz typowe lub odbite od obiektu, ale zakodowane przez rozproszenie w przód, rys. 3.

being received.

The extracted modulation from the returned light can be measured against the phase of the initial pulse whereby the temporal offset can be determined and distance calculated, (Fig. 3). However, if multiple scattering occurs the time difference will result in an error in distance measurements (Fig. 3).

A lidar type system can be of great use in scattering environments since they gate out the near-field backscatter by synchronizing the pulse of the light source with the opening and closing of a gate to the detection element [5]. However, the gating needs to be very quick since the effects of scattering are significant.

Given that light travels 22.5 cm/ns in the ocean, nanosecond pulses are needed to have a range of accuracy of 10 s of centimeters in the cloudiest water [3]. An example developed by Churnside et al. [18] used a laser at 532 [nm] with 600 [mJ] of power and a variable range gate that could image light from 3 [ns] to 100 [ps] during emission.

Using this method it is possible to eliminate most of the backscattering which improves the image quality and range of the device.

The underwater configuration consists of a high-powered narrow blue-green laser and narrow receiver that is capable of opening a gate on the order of picoseconds after the pulse is emitted. However, if the operation of the underwater

LIS is in coastal waters where the attenuation tends towards scattering dominant then the resultant imaging will be of poor quality due to excessive blurring and a reduction in contrast which decrease. Turbid water, with a large concentration of particulate, and with a relatively smaller turbulent flow contribution to forward scattering, can lead to distortion and blurring of the images [19].

IMPROVED LIS DETECTION RANGE - SPATIAL/TEMPORAL FILTERING

The promising method to improve LIS detection range, the hybrid lidar-radar, works by filtering out light arriving at the RX in that way that we can split the received signal into light directly reflected off the target (ballistic component) and typical or reflected off the target but also scrambled by the forward scattering, Fig 3. The hybrid lidar-radar approach permits the rejection of noise contained associated with multiple forward scattering events.

The use of a hybrid lidar-radar approach was first done by Mullen and Contarino [20] that combined the detection and signal-processing techniques of radar with the optical characteristics of lidar. The technique used a modulated signal combined with a radar (optical) receiver to measure the difference in the modulation of the light to properly reject the light that is not minimally scattered. If the water is turbid or murky forward scattering becomes the primary issue which much is corrected as noted above. To achieve this a laser is modulated temporally at microwave frequencies.

The primary method to gain improvements in underwater images relies on a temporally modulated laser pulse.

Mullen et al. [21] showed by temporally modulating the waveform LIS was able to filter out some of the solar and near-field backscattering. The method

Hybrydowe podejście lidarowo-radarowe pozwala na wyeliminowanie szumu związanego z wielokrotnym rozpraszaniem do przodu.

Zastosowanie hybrydowego podejścia lidarowo-radarowego zostało po raz pierwszy zrealizowane przez Mullena i Contarino [20], którzy połączyli techniki detekcji i przetwarzania sygnału radaru z optyczną charakterystyką lidar. Technika ta wykorzystywała zmodulowany sygnał połączony z odbiornikiem radarowym (optycznym) do pomiaru różnicy w modulacji światła, aby odpowiednio odrzucić światło, które nie jest minimalnie rozproszone. Jeśli woda jest mętna, rozpraszanie do przodu staje się głównym problemem, który jest korygowany w sposób opisany powyżej. Aby to osiągnąć, laser jest modulowany czasowo na częstotliwości mikrofalowej.

Podstawowa metoda uzyskiwania poprawy w obrazach podwodnych polega na zastosowaniu czasowo modulowanego impulsu laserowego.

Mullen et al. [21] wykazali, że poprzez czasową modulację kształtu fali system LIS był w stanie odfiltrować część rozproszenia słonecznego i rozproszenia w bliskim polu. W metodzie tej zastosowano modulowany laser na częstotliwościach mikrofalowych od 10 [MHz] do 90 [MHz], gdzie rozpraszanie tylne i wielokrotne światło rozproszone do przodu będzie demodulowane w stosunku do światła bezpośrednio odbitego. Cochenour i wsp. [22] wykazali doświadczalnie, że rozkład kątowy rozpraszania do przodu zmniejszał się wraz ze wzrostem częstotliwości modulacji - aż do 1 [GHz]. Spadek rozpraszania do przodu zwiększa rozdzielczość przestrzenną [7], światło zmodulowane (1GHz) miało spadek ilości światła wielokrotnie rozproszonego w wyniku interferencji destrukcyjnej. Ilustruje to rys. 4, gdzie wyższa częstotliwość modulacji (1 [GHz]) powoduje dekonstruktywną interferencję ze światłem wielokrotnie rozproszonym, podczas gdy niższa częstotliwość modulacji (500 [MHz]) zachowuje swoją częstotliwość modulacji, a interferencja jest konstruktywna dla tej samej różnicy długości drogi. Dlatego światło o wyższej częstotliwości docierające do czujnika, które nadal jest modulowane, zawiera więcej światła o rozproszeniu niższego rzędu w porównaniu do światła o niższej częstotliwości modulacji. [23]. Kompromisem wyższej częstotliwości modulacji jest to, że amplituda modulacji gwałtownie spada po 10 długości tłumienia, na które negatywnie wpływa rosnąca modulacja. Jest to spowodowane tym, że modulacje o wyższej częstotliwości są bardziej podatne na rozpraszanie [4].

FILTROWANIE PRZESTRZENNE I ORBITALNY MOMENT PĘDU (OAM)

Filtracja przestrzenna pozwala na wyeliminowanie zjawiska rozpraszania wstecznego. Perez i wsp. [24] zauważają, że faza objętościowego rozpraszania wstecznego jest niezależna od ruchu systemu (laser-odbiornik), podczas gdy faza systemu jest od niego zależna. Stwierdzili oni, że poprzez zakodowanie wielu częstotliwości modulacji filtrowanie przestrzenne zmniejszyło bezwzględny sygnał do szumu (w porównaniu do niefiltrowanego) obiektu mierzonego z bliskiej odległości. Cochenour i wsp. [23] stwierdzili, że mierząc orbitalny moment pędu w kanale podwodnym z mętną wodą można było przestrzennie rozróżnić sygnał powrotny od światła wstecznie rozproszonego w okolicach 2 długości tłumienia. Wir optyczny, powstały

employed a modulated laser at microwave frequencies from 10 [MHz] to 90 [MHz] where backscattering and multiple forward scattered light will be demodulated with respect to the directly reflected light. Cochenour et al. [22] shown experimentally that the angular distribution of forward scattering decreased as the modulation frequency increased - as high as 1 [GHz]. The decrease in forward-scattering enhances the spatial resolution [7] modulated (1GHz) light had a decrease in the amount of light that was multiply scattered due to destructive interference. This is illustrated in figure 4 where the higher modulation frequency (1 [GHz]) deconstructively interferes with multiply scattered light while the lower modulation frequency (500 [MHz]) maintains its modulation frequency and the interference is constructive for the same path-length difference. Therefore, the higher frequency light that arrives at the sensor which is still modulated comprises more light that has lower order scattering compared to lower modulation frequency [23]. The trade-off of higher modulation frequency is that the modulation amplitude decreases sharply after 10 attenuation lengths which are negatively affected by the increasing modulation. This is due to higher frequency modulations being more susceptible to scattering [4].

SPATIAL FILTERING & ORBITAL ANGULAR MOMENTUM (OAM)

Through spatial filtering, it is possible to remove backscatter. Perez et al. [24] notes that the phase of the volumetric backscatter is independent of the system's (laser-receiver) movement while the system's phase is dependent on it. They found by encoding multiple modulation frequencies the spatial filtering reduced the absolute signal to noise (compared to unfiltered) of an object measured at close range. It was found by Cochenour et al. [23] that by measuring the orbital angular momentum in a turbid underwater channel it was possible to spatially discriminate between the return signal and backscattered light around 2 attenuation lengths. An optical vortex, created by passing the light through a diffractive spiral phase plate, was used to enhance the range detection accuracy of the laser ranging system by Jantzi et al. [25] by being able to discriminate the spatial relationship between coherent and incoherent light.

APPLICATIONS OF THE LIS WITH TEMPORAL FILTERING FOR UNDERWATER TARGET DETECTION AND/OR OAM

Temporal filtering enables LIS to be able to see in a greater variety of underwater locations due to the filtering significantly increasing the range and accuracy of imaging.

Specifically, the method enables LIS to be used in murky and turbid environments due to the ability to filter out forward scattered light. However, the practical application of a high-frequency modulated LIS requires modification to the design of the modulated waveform.

Distinguishing time differences between modulating light requires a large bandwidth (bigger than the bandwidth needed to distinguish forward scattered light). This can be overcome by having a Gaussian pulse train and making measurements in the frequency domain where several measurements can be made by centering a narrow bandwidth receiver around each frequency

w wyniku przepuszczenia światła przez dyfrakcyjną spiralną płytkę fazową, został wykorzystany do zwiększenia dokładności detekcji zasięgu w laserowym systemie namierzania przez Jantziego i wsp. [25], dzięki możliwości rozróżnienia przestrzennej relacji pomiędzy światłem koherentnym i niekoherentnym.

ZASTOSOWANIA LIS Z FILTRACJĄ CZASOWĄ DO WYKRYWANIA OBIEKTÓW PODWODNYCH I/LUB OAM

Filtrowanie czasowe umożliwia systemowi LIS prowadzenie obserwacji w większej różnorodności miejsc podwodnych ze względu na filtrowanie znacznie zwiększające zasięg i dokładność obrazowania.

W szczególności, metoda ta umożliwia stosowanie LIS w mętnych środowiskach ze względu na możliwość odfiltrowania światła rozproszonego do przodu. Jednakże praktyczne zastosowanie modulowanego LIS o wysokiej częstotliwości wymaga modyfikacji konstrukcji fali modulowanej.

Rozpoznanie różnic czasowych pomiędzy światłem modulującym wymaga dużej szerokości pasma (większej niż szerokość pasma potrzebna do rozróżnienia światła rozproszonego do przodu). Można to osiągnąć poprzez zastosowanie gaussowskiego ciągu impulsów i wykonanie pomiarów w zakresie częstotliwości, gdzie można wykonać kilka pomiarów poprzez wyśrodkowanie odbiornika o wąskim paśmie wokół każdej częstotliwości harmonicznej. Jak widać na rysunku 5, ciąg impulsów gaussowskich zmodulowanych przy 1 [GHz] wytworzy odpowiedź częstotliwościową szczytową przy częstotliwości modulacji i każdej jej całkowitej wielokrotności aż do częstotliwości Nyquista. W ten sposób LIS może wykonywać pomiary o zmniejszonej szerokości pasma, większym zakresie dynamicznym i czułości [22]. Składowe wysokiej częstotliwości mogą być rozdzielone na częstotliwość pośrednią, gdzie można zastosować digitizery o niskiej częstotliwości próbkowania i wysokiej rozdzielczości.

Szczegółowo opisane przez Cochenour i wsp. [22]: widmo szerokopasmowe może być generowane przy użyciu lasera modulowanego, który wytwarza ciąg impulsów gaussowskich wyrażonych jako:

$$P_{opt}(t) = \frac{\bar{P}_{opt}}{\sqrt{2\pi}} \frac{T}{\tau} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-(t+nT)^2/2\tau^2] \quad (10)$$

gdzie \bar{P}_{opt} jest średnią transmitowaną mocą optyczną, T oznacza okres powtarzania impulsu, zaś τ jest stałą czasową impulsu gaussowskiego. Transformacja Fouriera z równania 10 daje wynik obserwowany przez detektor przed tłumieniem sygnału:

$$P_{ac}(f) = P_{dc} \times \exp[-(2\pi\tau f)^2] \quad (11)$$

gdzie $P_{ac}(f)$ jest energią elektryczną o częstotliwości f , uśrednioną składową prądu stałego $P_{dc} = R_L(\mathcal{R}\bar{P}_{opt})^2$, gdzie R_L jest opornością obciążenia, a \mathcal{R} jest reaktywnością detektora. Po przejściu lasera przez wodę i jego

harmonics. As seen in figure 5 a Gaussian pulse train modulated at 1 [GHz] will produce a frequency response peaking at the modulation frequency and every integer multiple of it out to the Nyquist frequency. Thus, a LIS can make measurements with reduced bandwidth, higher dynamic range, and sensitivity [22]. The high-frequency components can be split into an intermediate frequency where low sample rate and high-resolution digitizers can be used.

Detailed by Cochenour et al. [22]: a wideband spectrum can be generated using a mode-locked laser that outputs a Gaussian pulse train defined by

$$P_{opt}(t) = \frac{\bar{P}_{opt}}{\sqrt{2\pi}} \frac{T}{\tau} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-(t+nT)^2/2\tau^2] \quad (10)$$

where \bar{P}_{opt} is the average transmitted optical power, T is the pulse repetition period, and τ is the Gaussian pulse time constant. The Fourier transform of Eq. 10 yields an output as observed by a detector before attenuation of the signal of,

$$P_{ac}(f) = P_{dc} \times \exp[-(2\pi\tau f)^2] \quad (11)$$

where $P_{ac}(f)$ is the electrical power at frequency f , the averaged DC component $P_{dc} = R_L(\mathcal{R}\bar{P}_{opt})^2$, where R_L is the load resistance and \mathcal{R} is the detector responsivity. After the laser passes through water and is attenuated the signal would be received by the photodetector given by

$$P_{ac}(f, cz) = m(f, cz) \times P_{dc}(cz), \quad (12)$$

where c [m^{-1}] is the attenuation coefficient (Eq. 4). The term $m(f, cz)$ is the modulation depth that represents a fractional ($0 < m(f, cz) \leq 1$) amount of power loss due to forward scattering. The implication of Eq. 12 is that the power loss occurs due to absorption and scattering is frequency independent and loss occurs due to forward scattering that is frequency dependent. Therefore, through of

wytłumieniu sygnał zostanie odebrany przez fotodetektor, co wynika z zależności

$$P_{ac}(f, cz) = m(f, cz) \times P_{dc}(cz), \quad (12)$$

gdzie c [m^{-1}] jest współczynnikiem tłumienia (rów. 4). Składnik $m(f, cz)$ jest głębokością modulacji, która reprezentuje ułamkową ilość strat mocy ($0 < m(f, cz) \leq 1$) spowodowanych rozpraszaniem do przodu. Z zależności 12 wynika, że straty mocy powstałe w wyniku absorpcji i rozpraszania są niezależne od częstotliwości, a straty powstałe w wyniku rozpraszania do przodu są zależne od częstotliwości. Dlatego też, poprzez

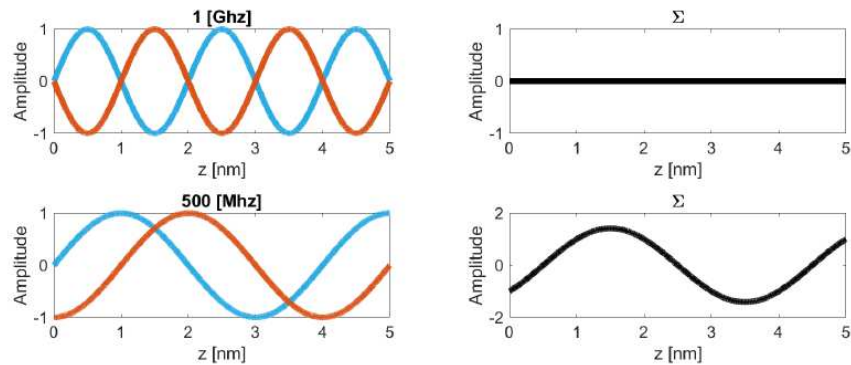


Fig. 4 Illustration of wave interactions due to different modulation frequencies of 1 [Ghz] and 500 [MHz]. The ballistic light (blue) is joined by multiply scattered light (red) where the waves interact.

Rys. 4 Ilustracja oddziaływań falowych spowodowanych różnymi częstotliwościami modulacji 1 [Ghz] i 500 [MHz]. Do światła balistycznego (niebieskiego) dołącza się światło wielokrotnie rozproszone (czerwone), przy którym następuje oddziaływanie fal.

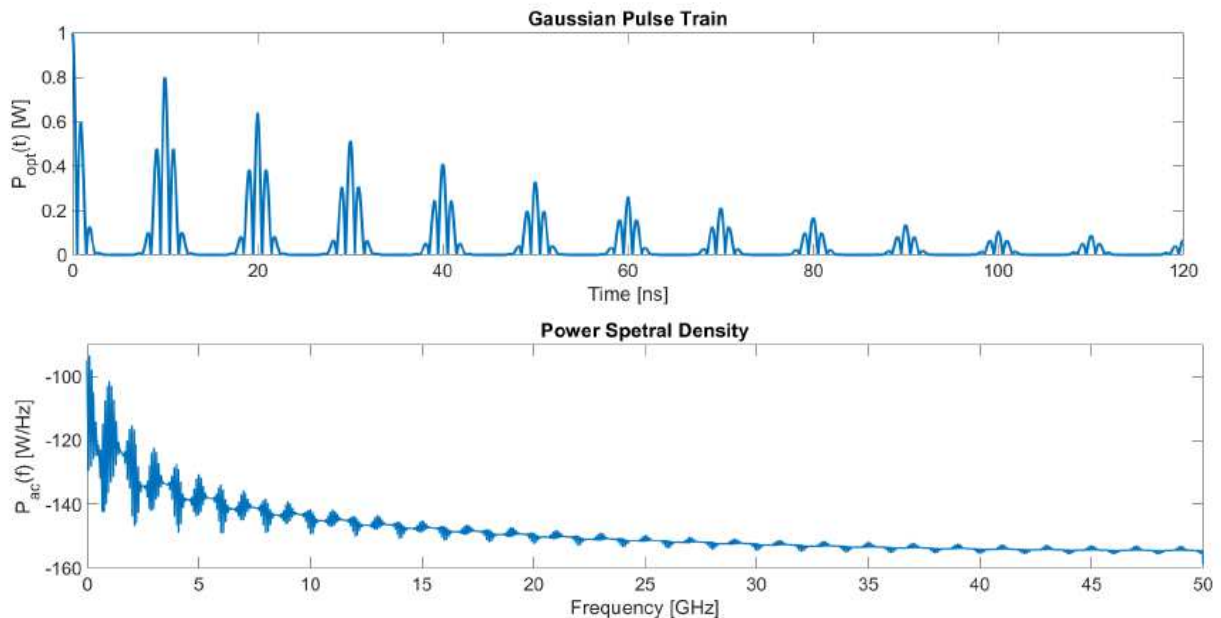


Fig. 5 A Gaussian pulse train modulated at 1 [GHz] $P_{ac}(t)$ with a pulse every 10 [ns] exponentially decaying over 120 [ns] accompanied by the power spectral density $P_{ac}(f)$ [W/MHz].

Rys. 5. Gaussowski ciąg impulsów zmodulowany częstotliwością 1 [GHz] $P_{ac}(t)$ z impule co 10 [ns] wykładniczo zanikającym w czasie 120 [ns] z towarzyszeniem widmowej gęstości mocy $P_{ac}(f)$ [W/MHz].

W równaniach 10 i 11 Cochenour i wsp. [22], techniką zapożyczoną od Gloge i wsp. [26] i Helkey i wsp. [27] był w stanie wygenerować sygnał bogaty w treść częstotliwościową (Rys. 5) bez odbiornika szerokopasmowego przy długości tłumienia $cz = 0:684$ w czystej wodzie do $cz = 15:88$ w wodzie mętnej. Jednak w porównaniu z niższymi częstotliwościami modulacji występuje znaczny spadek głębokości modulacji [dB] po ~ 10 długości tłumienia (cz) [4].

Jednakże, jak zauważają Cochenour i wsp. [22], istnieje kilka praktycznych problemów do rozwiązania przy wdrażaniu tej techniki podczas obrazowania pod wodą, ponieważ sprzęt najnowszej generacji był używany tylko w warunkach laboratoryjnych. Wykazano jednak, że poprawia ona kontrast poprzez filtrowanie światła rozproszonego do przodu.

WNIOSKI I PRZYSZŁE BADANIA

- Widzialność pod wodą jest odwrotnie skorelowana z tłumieniem światła $z \approx 4.8/c$ [1] (tj. 4:8 długości tłumienia). Widoczność gwałtownie spada w środowiskach mętnych.
- Na widoczność pod wodą wpływa tłumienie światła wynikające zarówno z rozproszenia jak i absorpcji. Tłumienie składa się zarówno z rozpraszania jak i absorpcji (rów. 2), co powoduje wykładnicze zmniejszenie sygnału (rów. 4). Rozpraszanie ma również wpływ na rozmycie i zniekształcenie obrazu poprzez funkcję rozpraszania objętościowego (rów. 5).
- Systemy LLS umożliwiają systematyczne skanowanie laserem obszaru docelowego w celu uzyskania obrazu 2D tego obszaru. Metody lidarowe, które modulują laser, umożliwiają ustalenie odległości do obiektu z dużą dokładnością.
- Modulacja lasera na częstotliwościach mikrofalowych umożliwia czasowe filtrowanie światła, które nie jest minimalnie rozproszone [21].
- Wyższe częstotliwości modulacji (do 1 [GHz]) powodują destrukcyjną interferencję światła, która zmniejsza rozkład kątowy światła [4].
- Dzięki pracy Cochenour i wsp. [22] możliwe jest zaprojektowanie modulowanego system LIS, który będzie w stanie dokonać pomiarów z dużą dokładnością w środowiskach mętnych do ~ 10 długości tłumienia (cz) bez znacznego spadku głębokości modulacji.
- Możliwe jest też zastosowanie OAM dla sygnału celem zwiększenia zasięgu detekcji.
- Postępy w technologii komunikacyjnej modulującej fale w zakresie fal milimetrowych (30-300 [GHz]), które nastąpiły w związku z rozwojem infrastruktury 5G, spowodowały obniżenie kosztów niezbędnych komponentów produkowanych masowo. Dzięki temu twórcy tej technologii mogą sięgnąć po dostępne na rynku produkty zamiast po najnowocześniejsze urządzenia, co radykalnie obniża koszt systemu LIS.

Eq. 10 & 11 Cochenour et al. [22], a technique borrowed from Gloge et al. [26] and Helkey et al. [27] was able to generate a signal rich in frequency content (Fig. 5) without a wideband receiver at an attenuation length of $cz = 0:684$ in clear water to $cz = 15:88$ in turbid water. However, there is a significant decrease in the modulation depth [dB] after ~ 10 attenuation lengths (cz) compared to lower modulation frequencies [4].

However, noted by Cochenour et al. [22], there are several practical issues to overcome when implementing this technique when imaging underwater as state-of-the-art equipment was used in a laboratory setting. Yet, it was shown to improve contrast by filtering out forward scattered light.

CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

- Underwater visibility is inversely correlated with attenuation of light $z \approx 4.8/c$ [1] (i.e. 4:8 attenuation lengths). Visibility decreases sharply in turbid and/or murky environments.
- Underwater visibility is affected by the attenuation of the light from both scattering and absorption. Attenuation comprised of both scattering and absorption (Eq. 2) which decreases the signal exponentially (Eq. 4). Scattering also has the effect of blurring and distorting the image through the volumetric scattering function (Eq. 5).
- LLS systems enable a laser to systematically scan a target area to produce a 2D image of the target area. While lidar methods, that modulate the laser, enable the distance to the target to be known with a high degree of accuracy.
- Modulation of the laser at microwave frequencies enables temporal filtering of light that is not minimally scattered [21].
- Higher modulation frequencies (up to 1 [GHz]) cause destructive interference of light which decreases the angular distribution of light [4].
- Through the work of Cochenour et al. [22] a modulated LIS system can be designed to be capable of measuring to a high degree of accuracy in turbid or murky environments to ~ 10 attenuation lengths (cz) without a significant decrease in modulation depth.
- It is also possible to impart OAM to the signal to increase the detection range.
- Advances in communications technology that modulate waves in the millimeter wave (30–300 [GHz]) that have come due to the roll-out of the 5G infrastructure have driven down the cost of the necessary components which are mass produced. This enables developers of this technology to turn to commercially available products instead of state-of-the-art equipment which drastically drives down the cost of a LIS.
- We intend to design a system that can implement the technique described herein to be deployable in the marine environment.

- Zamierzamy zaprojektować system, który może zaimplementować opisaną tu technikę, możliwy do wdrożenia w środowisku morskim.

REFERENCES

1. Zaneveld, J., and W. S. Pegau, 2003a: The prediction of diver visibility and its relation to spectral beam attenuation. Tech. rep., WESTERN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY LAB INC (WET LABS INC) PHILOMATH OR.
2. Zaneveld, J. R. V., and W. S. Pegau, 2003b: Robust underwater visibility parameter. *Optics express*, 11 (23), 2997–3009.
3. Jaffe, J. S., 2014: Underwater optical imaging: the past, the present, and the prospects. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 40 (3), 683–700.
4. Cochenour, B., K. Dunn, A. Laux, and L. Mullen, 2017a: Experimental measurements of the magnitude and phase response of high-frequency modulated light underwater. *Applied optics*, 56 (14), 4019–4024.
5. Dalgleish, F. R., A. K. Vuorenkoski, and B. Ouyang, 2013: Extended range undersea laser imaging: Current research status and a glimpse at future technologies. *Marine Technology Society Journal*, 47 (5).
6. Stramski, D., E. Boss, D. Bogucki, and K. J. Voss, 2004: The role of seawater constituents in light backscattering in the ocean. *Progress in Oceanography*, 61 (1), 27–56.
7. Luchinin, A., and L. Dolin, 2014: Application of complex-modulated waves of photon density for instrumental vision in turbid media. *Doklady Physics*, Pleiades Publishing, Vol. 59, 170–172.
8. Mobley, C. D., 1994a: Light and water: radiative transfer in natural waters. Academic Press.
9. Mobley, C. D., 1994b: Light and Water. Radiative Transfer in Natural Waters. Academic Press.
10. Pope, R. M., and E. S. Fry, 1997: Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. ii. integrating cavity measurements. *Applied optics*, 36 (33), 8710–8723.
11. Petzold, T. J., 1972: Volume scattering functions for selected ocean waters. Tech. rep., Scripps Institution of Oceanography La Jolla Ca Visibility Lab.
12. Luchinin, A. G., and M. Y. Kirillin, 2016: Temporal and frequency characteristics of a narrow light beam in sea water. *Applied Optics*, 55 (27), 7756–7762.
13. Bogucki, D., J. A. Domaradzki, D. Stramski, and R. Zaneveld, 1998: Comparison of nearforward scattering on turbulence and particles. *Atmos.–Ocean*, 37, 4669–4677.
14. Bogucki, D., J. Domaradzki, C. Anderson, H. Wijesekera, R. Zaneveld, and C. Moore, 2007: Optical measurement of rates of dissipation of temperature variance due to oceanic turbulence. 15 (12), 7224–7230.
15. MacDonald, I. R., J. S. Chu, F. Reilly, M. Blincow, and D. Olivier, 1995: Deep-ocean use of the sm2000 laser line scanner on submarine nr-1 demonstrates system potential for industry and basic science. 'Challenges of Our Changing Global Environment'. Conference Proceedings. OCEANS'95 MTS/IEEE, IEEE, Vol. 1, 555–565.
16. Dalgleish, F., F. Caimi, W. Britton, and C. Andren, 2007: An auvdeployable pulsed laser line scan (ppls) imaging sensor. OCEANS 2007, IEEE, 1–5.
17. Wang, C.-C., and D. Tang, 2009: Seafloor roughness measured by a laser line scanner and a conductivity probe. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 34 (4), 459–465.
18. Churnside, J. H., J. J. Wilson, and V. V. Tatarskii, 2001: Airborne lidar for fisheries applications. *Optical Engineering*, 40 (3), 406 – 414, doi:10.1117/1.1348000, URL <https://doi.org/10.1117/1.1348000>.
19. Hou, W., S. Woods, E. Jarosz, W. Goode, and A. Weidemann, 2012: Optical turbulence on underwater image degradation in natural environments. *Applied optics*, 51 (14), 2678–2686.
20. Mullen, L. J., and V. M. Contarino, 2000: Hybrid lidar-radar: seeing through the scatter. *IEEE Microwave magazine*, 1 (3), 42–48.
21. Mullen, L. J., V. M. Contarino, A. Laux, B. M. Concannon, J. P. Davis, M. P. Strand, and B. W. Coles, 1999: Modulated laser line scanner for enhanced underwater imaging. *Airborne and In-Water Underwater Imaging*, SPIE, Vol. 3761, 2–9.
22. Cochenour, B., S. P. O'Connor, and L. J. Mullen, 2013: Suppression of forward-scattered light using high-frequency intensity modulation. *Optical Engineering*, 53 (5), 051 406.
23. Cochenour, B., L. Rodgers, A. Laux, L. Mullen, K. Morgan, J. K. Miller, and E. G. Johnson, 2017b: The detection of objects in a turbid underwater medium using orbital angular momentum (oam). *Ocean Sensing and Monitoring IX*, SPIE, Vol. 10186, 1018603.
24. Perez, P., W. D. Jemison, L. Mullen, and A. Laux, 2012: Techniques to enhance the performance of hybrid lidar-radar ranging systems. 2012 Oceans, IEEE, 1–6.
25. Jantzi, A., W. Jemison, A. Laux, L. Mullen, and B. Cochenour, 2018: Enhanced underwater ranging using an optical vortex. *Optics express*, 26 (3), 2668–2674.
26. Gloge, D., E. Chinnock, and D. Ring, 1972: Direct measurement of the (baseband) frequency response of multimode fibers. *Applied Optics*, 11 (7), 1534–1538.
27. Helkey, R., D. Derickson, A. Mar, J. Wasserbauer, and J. Bowers, 1993: Millimeter-wave signal generation using semiconductor diode lasers. *Microwave and optical technology letters*, 6 (1), 1–5.

RESEARCH ON SATURATION DIVING IN POLAND AND ITS IMPLEMENTATION. PART I A. GENERAL CHARACTERISTICS OF SATURATION DIVING RESEARCH IN OUR POLAND. PIONEER TIMES; 1967- 1985

BADANIA NAD NURKOWANIAMİ SATUROWANYMI W POLSCE I İCH WDRAŻANIE. CZEŚĆ I A. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ NAD NURKOWANIAMİ SATUROWANYMI W NASZYM KRAJU. CZASY PIONERSKIE; LATA 1967- 1985

Stanisław Skrzyński

Department of Underwater Works Technology, Polish Naval Academy
Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademii Marynarki Wojennej

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article is the first in a series of articles on the research and implementation of saturation diving technology in our country which presents the specific Polish conditions and achievements against the background of economic and historical circumstances. In view of the fact that research and implementation has a history of more than half a century, selected key figures of this period are recalled, some of whom have disappeared in the fogs of history. In the specialized literature of the world, the Polish underwater habitats of Meduza are among top 6 countries that researched and implemented, this high technology of saturation diving. Regarded as the inspirer, pioneer and creator of the first saturation diving, he designed and developed the technique and decompression with the cooperation of a team of enthusiasts from clubs and professional divers, as well as engineering staff from the Tri-City enterprises. In the first part of the article the author characterizes the saturation dives in comparison with short dives with particular emphasis on decompression, which is the key to safe diving. The article also takes into account the technical conditions for the implementation of the first saturation dives. The author discusses the general methodology of validation and verification of the assumed decompression, referring to the Polish conditions. He describes how the medical, technical, and organizational problems of implementation of saturation diving were solved in the pioneering period against the background of world achievements. Furthermore, the author describes Polish habitat constructions of Meduza and Geonur types and their application to underwater work on the Polish shelf and coastal areas. Despite the great progress in the field of medicine and technology, as well as organization, the problems of saturation diving, despite the passage of time, remain relevant, as these are the most difficult dives from the point of view of organization, underwater physiology and safety technology.

Keywords: pioneering implementation of saturation diving, medical and technical problems of diver decompression, research validation of decompression tables, saturation diving, saturation diving parameters, underwater work, diving system, saturation diving, decompression of divers underwater habitat, decompression tables.

Artykuł jest pierwszym z cyklu artykułów dotyczących badań i wdrażania technologii nurkowań saturovani w naszym kraju. Przedstawiono w nim polską specyfikę i osiągnięcia na tle uwarunkowań gospodarczych i historycznych w tej dziedzinie. W związku z tym, że historia badań i wdrażania technologii nurkowań saturovani w naszym kraju ma ponad półwieczną historię, przypomniano w artykule wybranych animatorów, bohaterów tego okresu z których kilku zniknęło w mrokach dziejów. W specjalistycznej literaturze światowej w pierwszej 6-ce krajów, które badały i wdrażały, tą będącą „high technology” technologii znajduje się Polska. W I części artykułu autor opisuje polskie konstrukcje habitatów typu Meduza i Geonur i ich zastosowanie do prac podwodnych na polskim szelfie i akwenach przybrzeżnych. Mimo wielkiego postępu w dziedzinie medycyny i techniki oraz organizacji problemy nurkowań saturovani mimo upływającego czasu wciąż są aktualne, gdyż są to nurkowania najtrudniejsze z punktu widzenia organizacji, fizjologii podwodnej i techniki zabezpieczającej.

Słowa kluczowe: pionierskie wdrożenia nurkowań saturovani, medyczne i techniczne problemy dekompresji nurków, badania walidacja tabel dekompresyjnych, nurkowania saturowane, parametry nurkowania saturowanego, prace podwodne, system nurkowy, nurkowania saturowane, dekompresja nurków podwodny habitat, tabele dekompresji.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 53 – 72

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0021

Pages: 20 figures: 0, tables: 0

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.05.2021 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 14.06.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Статья является первой в серии статей об исследованиях и внедрении технологий погружения с насыщением в нашей стране. Она представляет польскую специфику и достижения на фоне экономических и исторических условий в этой области. В связи с тем, что история исследования и внедрения технологий погружения с насыщением в нашей стране насчитывает более полувека, в статье вспоминаются избранные аниматоры, герои этого периода, некоторые из которых исчезли в тумане истории. В специализированной мировой литературе указывается, что Польша входит в число 6 стран, которые исследовали и внедрились эту „high technology“. В первой части статьи автор описывает польские конструкции средств обитания типа Медуза и Геонур и их применение для подводных работ на польском шельфе и в прибрежных водах. Вопреки большому прогрессу в области медицины, техники и организации, проблемы погружения с насыщением, несмотря на прошедшее время, все еще актуальны, ведь это самые сложные погружения с точки зрения организации, подводной физиологии и техники безопасности.

Ключевые слова: пионерское внедрение погружения с насыщением, медико-технические проблемы декомпрессии водолазов, исследования валидации декомпрессионных таблиц, погружение с насыщением, параметры погружения с насыщением, подводные работы, водолазная система, погружение с насыщением, декомпрессия водолазов, подводное средство обитания, декомпрессионные таблицы.

Dieser Artikel ist der erste einer Reihe von Artikeln über die Erforschung und Anwendung der Sättigungstauchtechnik in unserem Land und stellt die polnischen Besonderheiten und Errungenschaften vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen und historischen Bedingungen in diesem Bereich dar. Da die Geschichte der Erforschung und Einführung der Technologie des Sättigungstauchens in unserem Land mehr als ein halbes Jahrhundert alt ist, erinnert der Artikel an ausgewählte Animatoren und Helden dieser Zeit, von denen einige im Dunkel der Geschichte verloren gegangen sind. In der weltweiten Fachliteratur gehört Polen zu den sechs Ländern, die diese "High Technology" erforscht und umgesetzt haben. Im ersten Teil des Artikels beschreibt der Autor die polnischen Habitatkonstruktionen vom Typ Medusa und Geonur und ihre Anwendung bei Unterwasserarbeiten auf dem polnischen Schelf und in Küstengebieten. Trotz der großen Fortschritte in Medizin, Technik und Organisation sind die Probleme des Sättigungstauchens nach wie vor aktuell, denn es ist der schwierigste Tauchgang in Bezug auf Organisation, Unterwasserphysiologie und Sicherheitstechnik.

Schlüsselwörter: Pionierarbeit bei der Einführung des Sättigungstauchens, medizinische und technische Probleme der Dekompression von Tauchern, Validierung von Dekompressionstabellen, Sättigungstauchen, Parameter des Sättigungstauchens, Unterwasserarbeit, Tauchsysteem, Sättigungstauchen, Dekompression von Tauchern unter Wasser, Dekompressionstabellen.

El artículo es el primero de una serie de artículos relativos a los estudios y la aplicación de la tecnología de buceo de saturación en nuestro país. Se han presentado en él los rasgos específicos de Polonia y los logros en el trasfondo de los condicionantes económicos e históricos en este campo. En relación con el hecho de que la historia de los estudios y la aplicación de la tecnología de buceo de saturación en nuestro país tiene más de medio siglo de historia, se ha mencionado en el artículo a determinados iniciadores, héroes de este periodo, de los cuales varios desaparecieron en las tinieblas de la historia. En la literatura mundial especializada, entre los primeros 6 países que estudiaron e implementaron esta tecnología considerada «high technology» se encuentra Polonia. En la primera parte del artículo el autor describe las construcciones polacas de hábitats del tipo Medusa y Geonur y su empleo para trabajos subacuáticos en la plataforma continental polaca y en las aguas costeras. A pesar del gran progreso en los campos de la medicina y la técnica, así como de la organización, los problemas del buceo de saturación siguen siendo actuales, a pesar del tiempo pasado, ya que este buceo es el más complejo desde el punto de vista de la organización, la fisiología subacuática y las técnicas de seguridad.

Palabras clave: aplicaciones pioneras del buceo de saturación, problemas médicos y técnicos de la descompresión de buzos, estudios de validación de tablas de descompresión, buceo de saturación, parámetros del buceo de saturación, trabajos subacuáticos, sistema de buceo, buceo de saturación, descompresión de buzos, hábitat subacuático, tablas de descompresión.

INFORMACJE WSTĘPNE O NURKOWANIACH SATUROWANYCH

Nurkowanie saturowane uważane jest za „high technology” podwodnych prac komercyjnych. Jest ono niezbędne w ratowaniu ludzi przebywających długotrwanie w warunkach podwyższonego ciśnienia, oraz jako „ostatnia deska ratunku” przy skomplikowanych incydentach dekompresyjnych. W zastosowaniu komercyjnym nurkowanie saturowane jest najbardziej efektywną metodą nurkowania, lecz zarazem wymagającą złożonego i skomplikowanego zabezpieczenia techniczno - organizacyjnego oraz wysokich kwalifikacji zespołu je realizującego.

Nasz kraj może się poszczycić historią badań i wdrożeń tych nurkowań sięgającą aż roku 1967, czyli niewiele krótszą od innych, także tych przodujących w dziedzinie technologii morskich krajów na świecie. Jako naród praktyczny, zaledwie dwa lata po pierwszym udanym komercyjnym nurkowaniu saturowanym rozpoczęliśmy własne prace nad tą, jak dziś już wiemy przełomową i niezwykle użyteczną technologią. Problem długotrwałego pobytu człowieka pod zwiększonym ciśnieniem nie jest związany tylko z morzem; w tym samym okresie tematem zajmowali się fizjologowie w ówczesnej Czechosłowacji. Głównym celem jaki stawiała sobie w tym okresie nauka było zapewnienie możliwości przetrwania i pracy człowieka w warunkach zwiększonego ciśnienia przez jak najdłuższy czas, przy jednoczesnym zapewnieniu mu bezpieczeństwa. Cel ten był motywowany także licznymi problemami występującymi na lądzie, takimi jak praca w kesonach. Inny motywator stanowiły katastrofy, podczas których ludzie przebywali przez długi czas w syfonach wodnych w warunkach podwyższonego ciśnienia.

Problem długotrwałej pracy ludzi pod ciśnieniem dotyczy także innych, czasem wręcz newralgicznych dziedzin. Przykładowo budownictwa tuneli, czy mostów. Zaś w najbliższych latach technologia nurkowań saturowanych będzie musiała być stosowana podczas budowy farm turbin wiatrowych na Bałtyku, i to na głębokościach na których polscy pionierzy batynautyki wiercili celem pobierania próbek do badania dna. Problemy te odżyją w naszym kraju po ponad półwieku, i trzeba będzie rozwiązać je formalnie, na drodze administracyjnej i co jest nieuniknione, badawczej nawet w przypadku przyjęcia nowych standardów zagranicznych¹.

Intensywne badania nad możliwościami adaptacyjnymi człowieka do pracy pod wodą, przy pełnym nasyceniu tkanek organizmu gazami obojętnymi, prowadzone były w wielu krajach. W krajach morskich głównie podczas eksploatacji złóż szelfowych, począwszy od lat 60-tych po lata 90-te. Poprzedziły je badania rozpoczęte na początku XX wieku związane z pracami w kesonach przy budowach mostów i podziemnych tras kolei. W różnych ośrodkach badawczych podejście do zagadnienia długotrwałego przebywania człowieka pod ciśnieniem było na tyle zróżnicowane, iż obecnie nie można wskazać jednego powszechnie przyjętego standardu nurkowań saturowanych. Wielu specjalistów za takowy uważa system marynarki amerykańskiej. Istotnym tu jest fakt, iż opracowane za granicą systemy były zastrzeżone i dostosowane do rozwiązań technicznych oraz poziomu techniki hiperbarycznej

INTRODUCTORY INFORMATION ON SATURATION DIVING

Saturation diving is regarded as 'high-tech' for underwater commercial works. It is indispensable in rescuing people exposed to elevated pressure for long periods of time, and as a "last resort" in complicated decompression incidents. In commercial application, saturation diving is the most effective method of diving, but at the same time one that requires complex and complicated technical and organizational protection and high qualifications of the team performing it.

Poland prides itself on its history of research and implementation of these dives dating all the way back to 1967, not much shorter than other countries, including those at the forefront of marine technology worldwide. As a practical nation, just two years after the first successful commercial saturation dive, we began our own work on this, as we now know it, ground-breaking and extremely useful technology.

The problem of prolonged human exposure to increased pressure is not only related to the sea; during the same period, the subject was being addressed by physiologists in former Czechoslovakia. The main goal that science set for itself during this period was to ensure that humans could survive and work under increased pressure for the longest possible time, while ensuring their safety. This goal was also motivated by the many problems encountered on land, such as working in caissons. Another motivator was catastrophic events in which people stayed for long periods of time in water siphons under conditions of increased pressure. The problem of prolonged human work while under pressure also affects other, sometimes critical, fields. For instance, the construction of tunnels or bridges. And in the coming years, the technology of saturation diving will have to be used during the construction of wind turbine farms in the Baltic Sea, at depths at which the Polish pioneers of batynautics performed drills to take samples for bottom testing. These problems will resurface in our country after more than half a century, and will have to be solved formally, administratively and, inevitably, research-wise even if new foreign standards are adopted¹.

Extensive research into the adaptability of humans to work underwater, with the body's tissues fully saturated with inert gases, has been carried out in many countries. In maritime countries this took place mainly during the exploitation of shelf deposits, from the 1960s to the 1990s. The studies were preceded by research that began in the early 20th century related to work in caissons during the construction of bridges and underground railroad routes. The approaches to the issue of prolonged human habitation under pressure have varied so widely across different research centres that no single universally accepted standard for saturation diving can now be identified. A number of specialists consider as such the system of the US Navy. Relevant here is the fact that the systems developed abroad were proprietary and adapted to the technical solutions and level of hyperbaric technology of the country. In conclusion, the discrepancies in the different saturation diving systems used around the world are the result of both the diversity of views on the effects of phenomena occurring in the hyperbaric environment on the human body, and the amount of money allocated to research. [1]

danego kraju. Podsumowując, rozbieżności w stosowanych na świecie różnych systemach nurkowań saturoowanych są wynikiem zarówno zróżnicowania poglądów dotyczących wpływu zjawisk zachodzących w środowisku hiperbarycznym na organizm człowieka, jak i wielkością nakładów finansowych przeznaczonych na badania [1].

Ważną rolę w badaniach i w realizacji nurkowań saturoowanych odgrywały i wciąż odgrywają sprzężenia zwrotne nauk wiodących. Przez takowe należy rozumieć medycynę podwodną oraz działy mechaniki dotyczące techniki hiperbarycznej, teorię organizacji, ergonomię a także tzw. dobrą praktykę nurkową. Zastosowane rozwiązania techniczne wpływają na wymagania medyczne i organizacyjne. Rozwiązania techniczne mają też zasadniczy wpływ na podstawowe elementy przyjętego systemu nurkowania saturowanego. Właściwe technicznie przygotowanie nurkowania wymaga rozwiązania niżej wymienionych problemów techniczno organizacyjnych:

- rodzaj zastosowanych mieszanin oddechowych w poszczególnych fazach nurkowania saturowanego;
- parametry składników atmosfery obiektów hiperbarycznych (mikroklimatu);
- sposób podnoszenia ciśnienia, utrzymania ciśnienia i parametrów atmosfery; (kompresji i dekompresji nurków);
- ustalenie bezpiecznej strefy głębokości pracy nurków w odniesieniu do plateau saturacji, (głębokości ciśnienia saturacji tj. przebywania nurków w komarach hiperbarycznych lub habitatu podwodnego);
- określenie czasu przebywania nurków w warunkach podwyższonego ciśnienia oraz ich czasu przebywania w toni wodnej;
- ergonomiczności zastosowania oddechowego sprzętu nurkowego oraz metody ochrony cieplnej organizmu nurka;
- higienę pracy i odpoczynku oraz żywienia nurków w warunkach podwyższonego ciśnienia;
- higienę mikrobiologiczną oraz indywidualną nurków;
- higienę nurków przed i po przebyciu nurkowania saturowanego;
- sposób komunikacji, łączności i obserwacji nurków;
- poziom niezawodności i jej technicznej nadmiarowości dla zabezpieczenia wysokiego poziomu bezpieczeństwa nurkowania saturowanego.

Wyżej wymienione aspekty i problemy mają odbicie w przepisach, normach i zaleceniach dotyczących realizacji nurkowań saturoowanych. Wymagania tych przepisów dla których bezpieczeństwo nurków jest nadrzędnym celem mają uzasadnienie w badaniach naukowych. Przepisy te są wynikiem skumulowanego wieloletniego doświadczenia, o czym nie należy zapominać.

Podstawowym warunkiem opracowania bezpiecznego systemu nurkowań saturoowanych, oprócz zagadnień technicznych, medycznych, organizacyjnych i prawnych, było i jest posiadanie bazy doświadczalnej. Baza ta winna spełniać wszystkie niezbędne wymagania do skutecznego zabezpieczenia realizacji zadań dla nurków doświadczalnych i eksperymentalnych ekspozycji ciśnieniowych na skalę laboratoryjną. Nie mniej ważne

An important role in the study and implementation of saturation diving continues to be played by the feedback of leading sciences. By these, we should understand underwater medicine and the departments of mechanics touching on hyperbaric technology, organization theory, ergonomics and also the so-called good diving practice. The technical solutions employed affect medical and organizational requirements. Also, engineering solutions have a major impact on the basic elements of the adopted saturation diving system. Proper technical preparation of a dive requires solving the following technical and organizational problems:

- the type of breathing mixtures used during the various phases of a saturation dive;
- parameters of the components of the atmosphere of hyperbaric facilities (microclimate);
- the method of raising the pressure, maintaining the pressure and parameters of the atmosphere; (compression and decompression of divers);
- determination of the safe depth zone of the divers' work in relation to the saturation plateau, (*The depth of saturation pressure, i.e., the stay of divers in hyperbaric chambers or underwater habitat*);
- determination of the time of divers' stay in conditions of increased pressure and their time in the water depths;
- ergonomics of the use of respiratory diving equipment and the method of thermal protection of the diver's body;
- hygiene of work and rest and nutrition of divers under conditions of increased pressure;
- microbiological and individual hygiene of divers;
- hygiene of divers before and after completing a saturation dive;
- the method of communication and observation of divers;
- the level of equipment reliability and technical redundancy thereof to secure a high level of safety of saturation diving.

The above-mentioned aspects and problems are reflected in regulations, standards and recommendations for the implementation of saturation diving. The requirements of these regulations for which the safety of divers is the primary goal are substantiated by scientific research. Said regulations are the result of accumulated experience over many years, which should not be forgotten.

The primary condition for the development of a safe saturation diving system, in addition to technical, medical, organizational and legal issues, is the availability of an experimental base. This base should meet all the necessary requirements to effectively secure the implementation of tasks for experimental divers and experimental pressure exposures on a laboratory scale. Equally important is the existence of the possibility of performing experimental saturation dives in marine conditions, which was impossible in our country for a certain period. The reason for this was the economic and political conditions and the lack of an adequate state programme in the coordination of activities in the field of underwater activities for the needs of defence and the national economy, while at the same time there was virtually no technical base for diving research in general [2].

jest również posiadanie możliwości wykonania doświadczalnych nurkowań saturowanych w warunkach morskich, co w naszym kraju przez pewien okres było niemożliwe. Przyczyną tego stanu rzeczy były uwarunkowania gospodarczo polityczne oraz brak odpowiedniego państwowego programu w koordynacji działań w dziedzinie działalności podwodnej dla potrzeb obronności i gospodarki narodowej, przy jednoczesnym praktycznie całkowitym braku bazy technicznej do badań dotyczących nurkowania w ogóle [2].

W nurkowaniu saturowanym, jak w żadnym innym nurkowaniu, widoczny jest bardzo wyraźnie związek trzech wiodących dziedzin tj.: medycyny podwodnej, techniki w szerokim spektrum nauk składających się na tę technikę oraz organizacji, w której decydującym jest sprawne i bezpieczne działanie. Badania nad nurkowaniem saturowanym prowadzone były i są nadal wielotorowo. Wymagają one udziału uczonych i specjalistów wielu nauk i dziedzin życia oraz naukowców i personelu specjalistycznego i inżynierskiego łączących, wykorzystujących i wdrażających wybraną wiedzę wynikającą z badań. W naszym kraju droga badania i wdrażania nurkowania saturowanego bardzo odbiegała od przyjętej sekwencji badań krajów wiodących. Początki nurkowań saturowanych w Polsce rozpoczęły się bez udziału stosownych ośrodków naukowych, a wynikały z bieżących potrzeb gospodarki morskiej i górnictwa oraz związanych z tym badań geologicznych.

Wszystkie liczące się państwa morskie badały i pracowały nad rozwojem i wdrożeniem nurkowań saturowanych nie tylko do zastosowań komercyjnych, ale również dla potrzeb obronności. Rozwój metody rozpoczęła w 1957 r roku grupa naukowców z US Naval Diving Laboratory kierowana przez specjalistów medycyny podwodnej kmdr J. Bonda i R. Workmana. Rozpoczęte przez nich badania nad teorią nurkowania saturowanego wdrażano w latach 60-tych XX wieku. Podstawą prac była teza, iż w tkankach ciała nurka przebywającego w danym ciśnieniu otoczenia, rozpuszczają się gazy obojętne, aż do pełnego nasycenia [3,4]. Po czasie pełnego nasyceniu organizmu nurka gazem obojętnym, niezależnie od tego ile czasu by nurk nie przebywał pod danym ciśnieniem, więcej gazu w jego organizmie się już nie rozpuści. Skutkuje to czasem dekompresji niezależnym od czasu przebywania pod ciśnieniem po przekroczeniu czasu całkowitego nasycenia tkanek (pełnej saturacji). Oprócz tej podstawowej uproszczonej tezy, w nurkowaniu saturowanym należało badać też inne czynniki, takie jak wpływ gazów obojętnych na organizm, oddziaływanie psychofizyczne otoczenia, dobór nurków, higiena przebywania w zamkniętej, ograniczonej przestrzeni, wpływ środowiska hiperbarycznego zawierającego domieszki szkodliwe dla organizmu, florę bakteryjną i grzybiczą, warunki oraz ocenę fizycznego i psychicznego zmęczenia nurka, możliwości wykonania przez niego pracy, a także bezpośrednie i odległe skutki zdrowotne dla organizmu oraz możliwości leczenia specyficznych chorób nurkowych w tym rekompresji leczniczej.

Podstawowym wyzwaniem badawczym od strony technicznej było zabezpieczenie długotrwałego pobytu nurka w warunkach ciśnienia oraz zdolności do relatywnie długiej pracy w toni wodnej. Wiodącymi problemami było tu zapewnienie komfortu przebywania, stosownej habitabilności - przestrzeni życiowej, zapewnienie higieny pracy i odpoczynku, ergonomii,

In saturation diving, as in no other type of diving, the connection between the three leading fields is visible, i.e.: underwater medicine, technique in the broad spectrum of sciences that make up the technique, and organization, in which efficient and safe operation is crucial. Research on saturation diving has been, and continues to be, carried out along a multifold path. They require the participation of scholars and specialists from multiple sciences and domains of life, as well as scientists and specialized and engineering personnel combining, using and implementing selected knowledge resulting from research. In our country, the path of research and implementation of saturation diving has been very different from the accepted research sequence of leading countries. Saturation diving in Poland began without the participation of competent scientific centres, and resulted from the current needs of the maritime and mining industries and related geological research.

All major maritime nations have researched and worked on the development and implementation of saturation diving not only for commercial use, but also for purposes of defence. The development of the method was initiated in 1957 by a group of scientists from the U.S. Naval Diving Laboratory led by underwater medical specialists Cmdr. J. Bond and R. Workman. Their research on the theory of saturation diving, which they began, was implemented in the 1960s. The works were based on the thesis that inert gases dissolve in the body tissues of a diver staying at a given ambient pressure until they are fully saturated [3,4]. Once the diver's body is fully saturated with an inert gas, regardless of the amount of time the diver stays at a given pressure, no more gas will dissolve in his body. This results in a decompression time that is independent of the time spent under pressure after the time of complete tissue saturation (full saturation). In addition to this basic simplified thesis, other factors in saturation diving had to be studied, such as the effects of inert gases on the body, the psychophysical effects of the environment, the selection of divers, the hygiene of staying in a confined, limited space, the effects of the hyperbaric environment containing admixtures harmful to the body, bacterial and fungal flora, conditions and assessment of the diver's physical and mental fatigue, the diver's ability to perform, as well as the immediate and remote health effects on the body and treatment options for specific diving diseases including therapeutic recompression.

The main research challenge was from the technical angle to secure the long-term stay of the diver under pressure and the ability to work for a relatively long time in the water depths. The main problems here were to ensure the comfort of stay, adequate habitability - living space, ensuring hygiene of work and rest, ergonomics, reliable and credible measurements of diving parameters in all four phases of saturation diving (*compression, stay at the saturation plateau, work in the water depth and decompression*), transfer under pressure of people and equipment, provision of medical assistance and reliability of the system resistance to states and emergencies with which the problem of evacuation of a diver under pressure is associated. Each of the above-mentioned problems requires the cooperation of representatives of many technical specialties: designers, constructors, technologists and technicians of mechanical, chemical, metrological, electric, hydraulic and pneumatic drives, ergonomics, sanitary specialties, etc. [2]

The author, having reviewed the literature and

wiarygodnych i niezawodnych pomiarów parametrów nurkowania we wszystkich czterech fazach nurkowania saturowanego (kompresji, pobytu na plateau saturacji, pracy w toni wodnej oraz dekompresji), transferu pod ciśnieniem ludzi i sprzętu, udzielenia pomocy medycznej oraz niezawodności odporności systemu na stany i sytuacje awaryjne z którymi wiąże się problem ewakuacji nurka pod ciśnieniem. Każdy z w/w problemów wymaga współpracy przedstawicieli wielu specjalności technicznych: projektantów, konstruktorów, technologów i techników specjalności mechanicznej, chemicznej, metrologicznej, napędów elektrycznych, hydraulicznych i pneumatycznych, ergonomicznych, sanitarnych itp. [2]

Przeglądając literaturę i bazując na własnym doświadczeniu badawczym oraz zawodowym autor stwierdza, iż rozwiązywanie problemów technicznych i organizacyjnych opisywane jest w literaturze fachowej w bardzo ograniczonej skali. Można by wręcz powiedzieć, że stanowi tam drugoplanowy problem. Problemy medyczne i fizjologiczne narzucały wymagania techniczne parametrów nurkowania. Ich przydatność oceniano tylko z punktu medycznego i w mniejszym stopniu ergonomicznego, poprzez pryzmat bezpieczeństwa zdrowia i życia nurka biorącego udział w eksperymencie danej technologii nurkowania.

Badania medyczne i techniczne nurkowań saturowanych i ich technicznego zabezpieczenia rozpoczęto od budowy „podwodnych domków” - habitatów. W trakcie badań zwiększano głębokość - poziom saturacji oraz przechodzono od powietrza jako medium oddechowego do mieszanin nitroksowych, trimiksowych i helioksowych w strefie głębokości morskiego szelfu. Podwodny habitat spełnił swoją rolę w pierwszym etapie pionierskim nurkowań saturowanych, lecz był niepraktyczny do zastosowania w przemyśle offshore, ratownictwie i badaniach morza. Ponadto, był bardzo niewygodny z punktu widzenia obsługowego i zapewnienia komfortu oraz bezpieczeństwa nurkom. System podwodnych habitatów, takich jak Sealab-1, Sealab-2 i Sealab-3, TEKTITE-1, TEKTITE-2 (USA); Helgoland (FRG) oraz Chernomor (ZSRR) czy nasze polskie rozwiązania Meduza I i Meduza II, pracowały na zasadach, że kompresja, przebywanie na głębokości nurków, oraz ich dekompresja odbywała się w całości w podwodnym domku. Szczególnie miejsce w wykorzystaniu domków podwodnych zajmuje metoda Aegir, zastosowana przez M. Runge'a (Hawaje). W tym przypadku sprężanie odbywało się w domku podwodnym stojącym przy pomoście. Po napełnieniu zbiorników balastowych wodą, domek zostawał opuszczony na dno, gdzie pozostawał przez cały czas trwania programu. Po zakończeniu eksperymentu balast był wydmuchiwany, aparat wynurzał się na powierzchnię, a nurkowie pozostawali w nim aż do zakończenia okresu dekompresji. Aegir był więc unikalnym połączeniem cech podwodnego domku, pokładowej komory dekompresyjnej i kapsuły transportowej.

Skład mieszaniny gazów w domkach podwodnych był różny [5,4]. Na przykład Sealab i Aegir używały mieszaniny helowo-tlenowej, a TEKTITE, Helgoland i Chernomor mieszaniny azotowo-tlenowej i powietrza (na płytkich głębokościach) podobnie jak polskie Meduza I i Meduza II [5,4,6].

Dla uniknięcia niedogodności domek podwodny wynoszono na powierzchnię gdzie pełnił funkcję komory hiperbarycznej i pozostawiano na jednostce pływającej. Takie rozwiązanie zapewniało mobilność stosowania

drawing on his own research and professional experience, concludes that solving technical and organizational problems is described in the literature on a very limited scale. One could even say that it constitutes a secondary problem there. Medical and physiological problems dictated the technical requirements of diving parameters. Their suitability was evaluated only from a medical and, to a lesser extent, ergonomic point of view, through the prism of health and life safety of the diver participating in the experiment of a given diving technology.

Medical and technical research of saturation diving and its technical protection began with the construction of "underwater cabins" - habitats. In the course of the research, the depth - saturation level was increased and the transition was made from air as a breathing medium to nitrox, trimix and heliox mixtures in the depth zone of the sea shelf. The underwater habitat fulfilled its role in the first pioneering stage of saturation diving, but was impractical for use in the offshore industry, rescue and marine research. Moreover, it was very inconvenient from the point of view of handling and ensuring the comfort and safety of divers. A system of underwater habitats, such as Sealab-1, Sealab-2 i Sealab-3, TEKTITE-1, TEKTITE-2 (USA); Helgoland (FRG) and Chernomor (USRR) or our Polish solutions Meduza I and Meduza II, operated on the principles that compression, staying at depth of divers, and their decompression took place in its entirety in an underwater cabin. A special place in the use of underwater houses is occupied by the Aegir method, used by M. Runge (Hawaii). In this case, compression took place in an underwater cabin located at the pier. After filling the ballast tanks with water, the cabin was placed at the bottom where it remained during the course of the programme. At the end of the experiment, the ballast would be deflated, the apparatus would be resurfaced, and the divers would remain in it until the decompression phase was over. The Aegir was thus a unique combination of features of an underwater cabin, an onboard decompression chamber and a transport capsule.

The composition of the gas mixture in the submersible cabins varied. [5,4] For example, Sealab and Aegir used a helium-oxygen mixture, while TEKTITE, Helgoland and Chernomor used a nitrogen-oxygen mixture and air (at shallow depths) as did the Polish Meduza I and Meduza II [5,4,6].

To avoid inconvenience, the underwater cabin was brought to the surface where it served as a hyperbaric chamber and was maintained on the watercraft. This solution provided the mobility of using saturation diving technology without the need to transport the underwater habitat. In this technical solution, divers stayed at a pressure similar to that prevailing at the working depth, "lived" on the surface, and proceeded to the location of their tasks in a closed type diving bell with the same internal pressure as in the chamber. This was possible thanks to a technical solution allowing the transfer of divers under pressure (TUP), one of the most dangerous operations during a saturation dive. Such solutions arose almost parallel to underwater habitats in the late 1960s. At that time, the technique associated with the organization for the implementation of saturation dives began to be referred to as a "diving system." The most technically complex element of the saturation diving system was and still is the closed-type diving bell, named so because, during the diving operation, the saturation plateau pressure prevails in it. The hatch of the bell opens and closes when the pressure

technologii nurkowań saturowanych bez konieczności transportowania podwodnego habitatu. W tym rozwiązaniu technicznym nurkowie przebywali pod ciśnieniem zbliżonym do panującego na głębokości pracy, „mieszkali” na powierzchni, a na miejsce wykonywania swych zadań udawali się dzwonem nurkowym typu zamkniętego o tym samym wewnętrznym ciśnieniu co w komorze. Było to możliwe dzięki rozwiązaniu technicznemu pozwalającemu na transfer nurków pod ciśnieniem (TUP), jednej z najbardziej niebezpiecznych operacji podczas nurkowania saturowanego. Takie rozwiązania powstawały prawie równoległe do podwodnych habitatów pod koniec lat 60 tych ubiegłego wieku. Wtedy też technikę powiązaną z organizacją dla realizacji nurkowań saturowanych zaczęto nazywać „systemem nurkowym”. Najbardziej technicznie złożonym elementem systemu nurkowania saturowanego był i jest nadal dzwon nurkowy typu zamkniętego, nazywany tak gdyż, podczas operacji zanurzenia panuje w nim ciśnienie plateau saturacji.

Właz dzwonu otwiera się i zamyka po wyrównaniu ciśnienia między otoczeniem a wnętrzem dzwonu, czyli w toni na głębokości zanurzenia -pracy nurków, lub ciśnieniem wewnątrz komory, do której jest podłączany. W budowie dzwonu typu zamkniętego wykorzystano doświadczenia nurkowań głębinowych oraz zastosowano dodatkowe rozwiązania techniczne zapewniające zasilanie aparatów oddechowych nurków, zasilanie ciepłą wodą skafandrów nurkowych i dzwonu, w celu ich ogrzania, utrzymanie łączności i oświetlenia, realizację pomiarów, czy utrzymanie parametrów atmosfery dzwonu zbliżonej do komory hiperbarycznej na plateau saturacji na powierzchni. Aparaturę zapewniającą te podstawowe funkcje dzwonu trzeba było wkomponować w jego przestrzeń. Wymagania bezpieczeństwa pracy nurków oraz zapewnienie im pomocy podczas prawdopodobnych stanów awaryjnych od strony medycznej i technicznej wymagają umieszczenia w tym celu na dzwonie lub w jego wnętrzu dodatkowych urządzeń i elementów: zapasu gazów, materiałów dla podtrzymania życia i obsługi instalacji gazowych, elektrycznych i hydraulicznych oraz awaryjnych baterii akumulatorów. Ma to na celu uzyskanie założonego poziomu autonomiczności. Czas tej autonomiczności wraz z rozwojem i zwiększeniem głębokości wydłużał się od 12 do 24 godzin, a dla dzwonów pracujących na głębokości 300 m wynosi aktualnie 72 godziny. Autonomiczność dzwonu jest konieczna w przypadku oderwania się wiązki kablowo-wężowej zasilania z powierzchni lub jej uszkodzenia. W sytuacji awaryjnej zerwania liny nośnej dzwon może wypłynąć na powierzchnię samodzielnie po zrzuceniu balastów zapewniających mu ujemną pływalność, oraz ewentualnie odcięciu wiązki kablowo-wężowej. W literaturze niekiedy zamknięty dzwon nurkowy nazywany jest „zanurzalną komorą hiperbaryczną” (SDC - submersible decompression chamber) [7,8].

Metoda nurkowania saturowanego do celów komercyjnych została po raz pierwszy zastosowana przez firmę naftową Westinghouse podczas prac na falochronie Smith Mountain. Firma korzystała z kompleksu do nurkowania na pokładzie statku Cachalot, na którym nurkowie przebywali pod ciśnieniem w komorze. Byli oni transportowani do komory ciśnieniowej i z powrotem za pomocą kapsuły transportowej, w której również utrzymywano nadciśnienie. Nurkowie spędzili na dnie 800 roboczogodzin w ciągu 12 tygodni. Wykorzystanie

between the environment and the interior of the bell is compensated, that is, in the depth of the diver's immersion-operation, or the pressure inside the chamber to which it is connected. The design of the closed-type bell drew on the experience of deep-sea diving and used additional technical solutions to feed divers' breathing apparatuses, supply warm water to diving suits and the bell for heating, maintain communications and lighting, carry out measurements, or maintain the parameters of the bell's atmosphere similar to a hyperbaric chamber at the saturation plateau on the surface. The apparatus providing these basic functions of the bell had to be integrated into its space.

The safety requirements for divers and the provision of assistance to them during probable medical and technical emergencies require additional equipment and components to be placed on or inside the bell for this purpose: stocks of gases, materials for life support and operation of gas, electrical and hydraulic systems, and emergency battery banks. This is aimed at achieving an assumed level of autonomy. The time of this autonomy has increased from 12 to 24 hours with development and increasing depth, and is currently 72 hours for bells operating at a depth of 300 meters. The bell's autonomy is necessary in case the power cable-hose bundle is detached from the surface or damaged. In an emergency situation of rupture of the power cable, the bell can surface autonomously after dropping the ballasts that provide it with negative buoyancy, and possibly cutting off the cable-hose bundle. In the literature, a closed diving bell is occasionally referred to as a "submersible hyperbaric chamber" (SDC) [7,8].

The method of saturation diving for commercial purposes was first employed by the oil company Westinghouse during works on the Smith Mountain breakwater. The company used a diving complex aboard the ship Cachalot, on which divers stayed under pressure in a chamber. They were transported to and from the pressurized chamber using a transport capsule, which was also kept under positive pressure. The divers spent 800 man-hours at the sea bottom over a 12-week period. The use of the Cachalot complex demonstrated that the saturation diving method can find wide application. Saturated divers stay under pressure in a decompression chamber located aboard a carrier ship and are transported to the work site also under pressure in a transport capsule or underwater decompression chamber. This system differed from other systems developed at the time using the underwater cabin principle: (Sealab-1, TEKTITE-1, TEKTITE-2 (USA); Helgoland (FRG) and Chernomor (USSR)). In these systems, compression was performed on the surface, followed by the divers being transported to an underwater cabin, where they remained until the completion of the programme. At the end of the experiment, the divers would return to the decompression chamber located on the surface.

Modern diving platforms located in the North Sea (such as Uncle John and the platform being built by Seaforth) are equipped with saturation diving systems, allowing diving 24 hours a day, 3 times each with three teams of three using two diving bells. The diving system is designed for 28 divers placed simultaneously under different saturation plateau pressures. The achievement of such a solution was made possible by high-intensity research conducted until the 1990s.

The result of this research has been the



kompleksu Cachalot pokazało, że metoda nurkowania nasyconego może znaleźć szerokie zastosowanie. Saturowani nurkowie przebywają pod ciśnieniem w komorze dekompresyjnej umieszczonej na pokładzie statku dostawczego i są transportowani do miejsca pracy również pod ciśnieniem w kapsule transportowej lub podwodnej komorze dekompresyjnej. System ten różnił się od innych opracowanych w tym czasie systemów wykorzystujących zasadę domu podwodnego: (Sealab-1, TEKTITE-1, TEKTITE-2 (USA); Helgoland (FRG) i Chernomor (ZSRR)). W tych systemach kompresja była przeprowadzana na powierzchni, następnie nurkowie byli transportowani do podwodnego domu, gdzie pozostawali aż do zakończenia programu. Po zakończeniu eksperymentu nurkowie wracali do komory dekompresyjnej znajdującej się na powierzchni.

Nowoczesne platformy nurkowe znajdujące się na Morzu Północnym (takie jak Uncle John czy platforma budowana przez Seaforth) są wyposażone w systemy nurkowania saturowanego, pozwalające nurkować całodobowo, 3 razy po zespoły trzyosobowe przy użyciu dwóch dzwónów nurkowych. System nurkowy przeznaczony jest dla 28 nurków umieszczanych jednocześnie pod różnymi ciśnieniami plateau saturacji. Na osiągnięcie takiego rozwiązania pozwoliły badania prowadzone z dużą intensywnością do lat 90-tych ubiegłego wieku.

Wynikiem tych badań jest ciągły rozwój pojawiających się od lat siedemdziesiątych przepisów dotyczących budowy systemów nurkowych. Pierwsze przepisy dotyczące budowy systemów nurkowych do nurkowań saturowanych były bardzo szczegółowe i odzwierciedlały wyniki badań i doświadczenia danego kraju, dla którego były tworzone. Do chwili obecnej praktycznie każdy kraj morski eksploatujący szelf posiada takie przepisy. Wymiana międzynarodowa wymusiła, by dla współpracy powstały międzynarodowe zalecenia (IMCA i IMO). Pierwsze przepisy były znacznie bardziej szczegółowe, w porównaniu do aktualnie stosowanych, szczególnie tych międzynarodowych które są na poziomie ogólnych wymagań technicznych [8].

Równoległe z przepisami budowy systemów nurkowych następuje sformalizowanie się przepisów dotyczących nurkowań głębokich i saturowanych. Zawierają one wymagania medyczne, organizacyjne nurkowania i niezbędną technikę do wykonania nurkowania oraz procedury dekompresyjne. Do tych wymagań dołącza się zalecenia procedur postępowania przy wystąpieniu chorób nurkowych i procedury rekompresji leczniczej. W/w przepisy odzwierciedlają specyfikę medyczną i techniczno-organizacyjną danego kraju i chronią jego interesy gospodarcze.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DEKOMPRESJI W NURKOWANIACH SATUROWANYCH

Mimo upływu ponad stu lat od opracowania pierwszych zaleceń dekompresyjnych, opartych na naukowej interpretacji procesu desaturacji (Paul Bert 1878 r.), do dnia dzisiejszego nie została opracowana metoda dekompresji nawet dla nurków przy użyciu powietrza, którą można by było uznać za metodę standardową. Nie dysponujemy również standardem badań weryfikujących poprawność dekompresji. Nie potrafimy także jednoznacznie wskazać, którzy nurkowie będą lepiej tolerować obciążenia dekompresyjne, a którzy

ciągły rozwój regulacji dla konstrukcji systemów nurkowych od lat 1970. Pierwsze regulacje dla konstrukcji systemów nurkowych dla nurkowania nasyconego były bardzo szczegółowe i odzwierciedlały wyniki badań i doświadczenia danego kraju, dla którego były tworzone. Do chwili obecnej praktycznie każdy kraj morski eksploatujący szelf posiada takie przepisy. Wymiana międzynarodowa wymusiła, by dla współpracy powstały międzynarodowe zalecenia (IMCA i IMO). Pierwsze regulacje były znacznie bardziej szczegółowe, w porównaniu do aktualnie stosowanych, szczególnie tych międzynarodowych które są na poziomie ogólnych wymagań technicznych [8].

W tym czasie równoległe z przepisami budowy systemów nurkowych następuje sformalizowanie się przepisów dotyczących nurkowań głębokich i saturowanych. Zawierają one wymagania medyczne, organizacyjne nurkowania i niezbędną technikę do wykonania nurkowania oraz procedury dekompresyjne. Do tych wymagań dołącza się zalecenia procedur postępowania przy wystąpieniu chorób nurkowych i procedury rekompresji leczniczej. W/w przepisy odzwierciedlają specyfikę medyczną i techniczno-organizacyjną danego kraju i chronią jego interesy gospodarcze.

GENERAL CHARACTERISTICS OF DECOMPRESSION IN SATURATION DIVING

Despite the passage of more than a century since the development of the first decompression guidelines, based on a scientific interpretation of the desaturation process (Paul Bert 1878), to this day no decompression method has been developed even for air dives that could be considered a standard method. Neither do we have a standard of tests to verify the correctness of decompression. Nor can we clearly indicate which divers will tolerate decompression loads better and which will tolerate them less well [1].

The primary problem in saturation diving and short-term diving, is to solve the issue of decompression of divers to the full extent, for all types of underwater work. This problem has been addressed in three problem groups, which constitute the entirety of diving. The most difficult research tasks face underwater medicine, starting with physiology, pathophysiology, hygiene of the diver's work and rest, medical selection of experimental divers, and evaluation of their psychophysical condition. Related to this is the problem of assessing the effects of decompression on the health of the diver immediately after the dive, and the remote effects over a long period of time. Currently, the problems of remote effects are recognized research-wise, but rarely described in the literature.

The second leading problem is the evaluation (validation) of the decompression tables used. The extent to which research was conducted on this topic depended on the needs of industry and defence, the traditions of the country, the funds that were set aside for research, and the equipment and capabilities of the research base that scientists had at their disposal. For example, decompression research of one saturation dive at depths of 200-300m is an outlay of millions of dollars.

Decompression continues to be the most difficult phase of diving. Despite years of research and considerable investment in research work, the process is still not fully understood, and does not have a standard

gorzej [1].

Podstawowym i wiodącym problemem w nurkowaniach saturovaniach i krótkotrwałych, jest rozwiązanie problemu dekompresji nurków w pełnym zakresie, dla wszystkich rodzajów prac podwodnych. Problem ten rozwiązywano i wciąż rozwiązuje się w trzech grupach problemowych, które stanowią całość kształtu nurkowania. Najtrudniejsze zadania badawcze stawia się przed medycyną podwodną, począwszy od fizjologii, fizjopatologii, higieny pracy i wypoczynku nurka, doborze pod względem medycznym nurków doświadczalnych, oraz oceny ich kondycji psychofizycznej. Wiąże się z tym problem oceny wpływu dekompresji na stan zdrowia nurka bezpośrednio po nurkowaniu, oraz skutków odległych w długim przedziale czasu. Aktualnie problemy skutków odległych są rozpoznawane badawczo, lecz rzadko opisywane w literaturze.

Drugim problemem wiodącym jest ocena (walidacja) stosowanych tabel dekompresyjnych. Zakres prowadzenia badań w tym temacie zależał od potrzeb przemysłu i obronności, od tradycji danego kraju, środków, które wyasygnowano na badania oraz wyposażenia i możliwości bazy badawczej, którą naukowcy mieli do dyspozycji. Np. badanie dekompresji jednego nurkowania saturowanego na głębokościach 200-300m to nakład rzędu milionów dolarów.

Dekompresja to wciąż najtrudniejsza faza nurkowania. Pomimo lat badań i niemałych nakładów na prace badawcze, proces ten nadal nie jest do końca poznany, oraz nie posiada modelu standardowego, tak w nurkowaniach krótkotrwałych jak i saturovaniach. W ostatnich dziesięcioleciach za model porównawczy przyjmowano model nurkowań krótkotrwałych US Navy, ale głównie w krajach anglosaskich. W dekompresji brakuje ogniwa pośredniego pomiędzy nurkowaniem saturovanymi a krótkotrwałymi. Brak ten wynika głównie z ekonomicznych podstaw, oraz z trudności w opracowaniu racjonalnego pod względem efektywności modelu dla nurkowań z czasami pobytu na głębokości dłuższym niż 2 godziny, a także z ograniczonym zabezpieczeniem technicznym pracy nurka na średnich i małych głębokościach. Dla tych nurkowań konieczna jest baza z dzwonem nurkowym oraz aktywna ochrona cieplna pobytu nurka w toni wodnej, co nie jest efektywne z punktu widzenia ekonomicznego.

W latach 70 i 80-tych ubiegłego wieku w naszym kraju istniało pojęcie nurkowań subsaturovaniach tj. dla czasów poniżej czasu pełnego nasycenia organizmu; tkanki wiodącej (tj. 5-6 jej czasów połowicznego nasycenia).

Podczas nurkowania krótkotrwałego pełnemu nasyceniu ulegają tylko tzw. tkanki szybkie (np. krew, limfa), o relatywnie krótkim okresie połowicznego nasycenia. Natomiast tkanki średniej prędkości i wolnego półnasycenia, nasycają się częściowo. Relacje tych tkanek dla wybranego czasu pobytu na danej głębokości, tj. oddziaływania ciśnienia, różnią się założonym poziomem ich nasycenia, co implikuje wielorakość modelu dekompresji. W nurkowaniu saturovanym organizm nurka nasycy wszystkie tkanki w 100%, po pewnym okresie czasu przebywania pod danym ciśnieniem, zwanym plateau saturacji lub poziomem saturacji.

W opinii autora artykułu, w polskim środowisku naukowym przyjęło się, że dekompresją zajmują się i opracowują ją lekarze. Istniejące modele dekompresyjne w większości opracowywane były i są przez fizyków

model, both in short-duration and saturation diving. In recent decades, the US Navy short-duration model has been adopted as a comparative model, but mainly in Anglo-Saxon countries. Decompression lacks an intermediate link between saturation diving and short duration diving. This lack is mainly due to economic grounds, and the difficulty of developing an efficiency-reasonable model for dives with stay times of more than 2 hours at depth, as well as limited technical protection for the diver's work at medium and low depths. For these dives, a base with a diving bell and active thermal protection of the diver's stay in the depths is necessary, which is not economically efficient.

In the 1970s and 1980s the concept of subsaturation dives existed in our country, i.e. for times below the body's full saturation time; leading tissue (i.e. 5-6 of its half saturation time).

During short-term diving, only so-called fast tissues (e.g., blood, lymph), with a relatively short half-saturation period, become fully saturated. In contrast, medium-speed and slow half-saturation tissues, saturate partially. The relations of these tissues for a selected time of stay at a given depth, i.e., pressure interaction, differ in the assumed level of their saturation, which implies the manifold nature of the decompression model. In saturation diving, the diver's body saturates all tissues in 100%, after a certain period of time of staying under a given pressure, known as the saturation plateau or saturation level.

The author of the article believes that in the Polish scientific community it has become accepted that decompression is managed and developed by doctors. Existing decompression models have mostly been and continue to be developed by physicists and mathematicians, but always with the participation of physicians and generally deal with the physics of the phenomenon of dissolution, permeation and release of gases in human tissues. Historically, the oldest and to date used in decompression modelling is the hypothesis of exponential saturation and dissolution of theoretical body tissues, which have no direct counterpart in reality [9,10].

An ideal decompression profile is one that, from a theoretical point of view, is tailored to create the largest possible gradient of inert gas elimination from the tissue without triggering bubble formation [11,9]. We know from the physics of the phenomenon that the rate of tissue saturation is greater the higher the pressure gradient between the pressure in the tissues and the external pressure, depending on the depth of the dive, the difference in the partial pressure of a given gas between the gas in the diver's lungs and the individual tissues. As the gas dissolves in the tissues, the magnitude of the gradient decreases due to a decrease in the difference in partial pressures between blood and tissues, resulting in a decrease in the amount of dissolved gas all the way to the end of the process. The amount of gas dissolved until full saturation will also depend on lung ventilation, and the amount of blood supplying the tissues per time unit (heart rate). The volumes of dissolved gas in the tissues will also depend on the type of inert gas, the mass of the tissue and its blood supply, or the position of the diver in the water depths. To verify decompression tables in the last decades of the 20th century, divers of height 175cm and weight 70kg were selected, and for saturation dives the criteria were even stricter. It was joked, for example, that a saturation diver should not knock down a bar at

i matematyków, ale zawsze z udziałem lekarzy i generalnie dotyczą fizyki zjawiska jakim jest rozpuszczanie, przenikanie i wydzielanie gazów w tkankach człowieka. Historycznie najstarszą i do tej chwili używaną w modelowaniu dekompresji jest hipoteza ekspotencjalnego nasycania i rozsywania teoretycznych tkanek organizmu, które nie mają bezpośrednio odpowiednika w rzeczywistości [9,10].

Idealny profil dekompresyjny to taki, który z teoretycznego punktu widzenia jest dobrany tak, by utworzyć największy możliwy gradient eliminacji gazu obojętnego z tkanki bez powodowania tworzenia się pęcherzyków [11,9]. Z fizyki zjawiska wiemy, iż prędkość nasycenia tkanek jest tym większa, im większy jest gradient ciśnienia pomiędzy ciśnieniem w tkankach a ciśnieniem zewnętrznym, zależny od głębokości nurkowania, różnicy ciśnienia parcjalnego danego gazu pomiędzy gazem w płucach nurka a poszczególnymi tkankami. W miarę rozpuszczania się gazu w tkankach wielkość gradientu obniża się na skutek zmniejszania się różnic ciśnień parcjalnych pomiędzy krwią a tkankami, co powoduje zmniejszanie się ilości rozpuszczonego gazu aż do momentu zakończenia tego procesu. Ilość gazu rozpuszczonego do czasu pełnego nasycenia będzie również zależna od wentylacji płuc, oraz ilości krwi zasilającej tkanki w jednostce czasu (tętna). Objętości gazów rozpuszczonych w tkankach będą również zależały od rodzaju gazu obojętnego, masy tkanki i jej ukrwienia, czy pozycji nurka w toni wodnej. Dla weryfikacji tabel dekompresji w ostatnich dekadach XX wieku dobierano nurków o wzroście 175cm i wadze 70kg, a w przypadku nurków saturowanych kryteria były jeszcze bardziej ostre. Żartowało się na przykład, że nurek saturowany nie powinien stracić poprzeczki na wysokości 165cm.

Czas pełnego nasycenia tkanek organizmu dla nurków saturowanych przyjmuje się na od 30 do 36 godzin dla azotu jako gazu obojętnego i 26-28 godzin dla helu. W nurkowaniach krótkotrwałych tzw. tkanki szybkie ulegają pełnemu nasyceniu znacznie szybciej (np. przyjmuje się, że krew nasycy się w ciągu 28-30 min dla danego ciśnienia otoczenia) [6].

Czas nasycenia danej tkanki teoretycznej określony jest wielokrotnością okresu półnasycenia, wynikającą z wykładniczej, która jest ciągiem składników szeregu liczb o połowę mniejszych, zbliżających się do zera. Stosując praktycznie zasady teorii dekompresji przyjmuje się jako czas pełnego nasycenia 6 okresów półnasycenia. Jest to 98,5 99,5 % czasu pełnego nasycenia. Na przykład dla tkanki o okresie półnasycenia 40 min, czyli jednej z tkanek wiodących (tj. uwzględnianych w nurkowaniach krótkotrwałych) czas pełnego nasycenia wynosi około 240 min. W przypadku tkanek teoretycznych stosowanych w dekompresji nurków saturowanych, tkanka o okresie półnasycenia 240 min osiąga pełne nasycenie po ponad dobie przebywania pod ciśnieniem. Dla tkanek teoretycznych 480 min pełne nasycenie nastąpi po dwóch dobach, a dla tkanki o czasie półnasycenia 720min po trzech dobach.

Model dekompresji jest odwzorowaniem zjawisk zachodzących w organizmie (w pewnym przybliżeniu), które są zweryfikowane przez fizjologię podwodną i okazały się bezpieczne w praktyce. Półokresy nasycenia od 4 min do 480 min odwzorowują procesy nasycenia i nasycania tkanek w wystarczającym przybliżeniu.

W tabelach dekompresji opartych na modelu Haldana lub neohaldanowskich operujemy okresami półnasycenia np. RDP PADI w modelu dekompresji dla nurków krótkotrwałych uwzględniono 14 rodzajów

165cm.

The time for full saturation of body tissues for saturation dives is assumed to be 30 to 36 hours for nitrogen as an inert gas and 26-28 hours for helium. In short-term dives, the so-called fast tissues become fully saturated much faster. (For instance, it is assumed that blood saturates within 28-30 minutes for a given ambient pressure) [6].

The saturation time of a given theoretical tissue is determined by a multiplication of the semi-saturation period, derived from the exponential, which is a sequence of components of a series of half-size numbers approaching zero. When practically applying the principles of decompression theory, 6 semi-saturation periods are taken as the time of full saturation. This is 98.5 99.5% of the full saturation time. For example, for a tissue with a semi-saturation period of 40 min, i.e. one of the leading tissues (i. e. considered in short-duration dives), the time to full saturation is about 240 min. For the theoretical tissues used in decompression saturation dives, a tissue with a semi-saturation period of 240 min reaches full saturation after being under pressure for more than a day. For theoretical tissues of 480 min, full saturation will occur after two days, and for tissue with a semi-saturation time of 720min after three days.

The decompression model is a representation of phenomena occurring in the body (in some approximation), which are verified by underwater physiology and have proven safe in practice. The saturation half-periods from 4 min to 480 min reproduce the processes of tissue saturation and dissolution to a sufficient approximation. In decompression tables based on the Haldane or neo-Haldane model, we operate with semi-saturation periods, e.g., RDP PADI's decompression model for short-duration dives considers 14 tissue types and adopts the following semi-saturation periods grouping them in multiples of minutes: 5', 10', 20', 30', 40', 60', 80', 100', 120', 160', 200', 240', 360', 480'. The U.S. Navy's tables for short-duration dives assume a smaller number of theoretical tissues. Their saturation half-times are 5, 10, 20, 40, 60, 80, 90, 100 and 120 minutes. The models used utilize a different grouping of time and values, and these are theoretical models for the mathematical description of very complex phenomena at the biological level. In short-duration diving, depending on the time spent at depth, several leading tissues are generally invoked, i.e., those that must be included in the process of dissolution so as not to exceed the permissible gradient of the difference of the so-called supersaturation, which is, to put it in a nutshell, the pressure difference between the tissues and the environment, which will not cause the formation of gas bubbles in the tissues causing decompression incidents and illnesses. As soon as the gradient of saturation pressure exceeds the permissible value, we define this as the supersaturation phase, and adjust the decompression time so as to eliminate this critical supersaturation. In other models based on theories of gas bubble growth or diffusion phenomena, we also operate pressures that we cannot exceed. The development of decompression procedures relies on avoiding critical supersaturation in tissues with different saturation half-times [9,10].

The first to introduce the method of calculating supersaturations was physician R.D. Workman in the mid-1960s. Based on decompression studies he conducted for the U.S. Navy Experimental Diving Unit (NEDU), he introduced the "M-value" (from the word maximum) for the determination of the limiting pressure gradient of the

tkanek i przyjęto następujące półokresy nasycenia grupując je w wielokrotności minut: 5', 10', 20', 30', 40', 60', 80', 100', 120', 160', 200', 240', 360', 480'. Tabele US Navy dla nurkowań krótkotrwałych przyjmują mniejszą ilość tkanek teoretycznych. Ich półokresy nasycenia to 5, 10, 20, 40, 60, 80, 90, 100 i 120 minut. Stosowane modele wykorzystują inne grupowanie czasu i wartości, a te są teoretycznym modelem matematycznego opisu zjawisk bardzo złożonych na poziomie biologicznym. W nurkowaniach krótkotrwałych w zależności od czasu pobytu na głębokości generalnie przywołuje się kilka tkanek wiodących, tj tych które muszą być uwzględnione w procesie rozsylenia tak, by nie przekroczyć dopuszczalnego gradientu różnicy tzw. przesylenia, czyli mówiąc w dużym uproszczeniu różnicy ciśnień pomiędzy tkankami i otoczeniem, które nie spowodują utworzenie pęcherzyków gazowych w tkankach powodujących incydenty i choroby dekompresyjne. Z chwilą gdy gradient ciśnienia rozsylenia przekroczy wartość dopuszczalną określamy to fazą przesylenia, i tak ustawiamy dekompresję czasowo by te przesylenie krytyczne zlikwidować. W innych modelach opartych o teorie wzrastania pęcherzyka gazowego lub zjawisk dyfuzji też operujemy ciśnieniami, których nie możemy przekroczyć. Opracowanie procedur dekompresyjnych polega na unikaniu krytycznych przesyceń w tkankach o różnych czasach półnasylenia [9,10].

Pierwszym, który wprowadził metodę obliczenia przesyceń był lekarz R. D. Workman w połowie lat 60 ubiegłego wieku. Na podstawie badań dekompresji jakie prowadził dla US Navy Experimental Diving Unit (NEDU) wprowadził „wartość M” (od słowa maksymalny) dla określenia granicznego gradientu ciśnienia maksymalnego gazu obojętnego, jakie dana tkanka toleruje przy danym ciśnieniu otoczenia bez objawów choroby ciśnieniowej. Ta metoda jest stosowana także we współcześnie stosowanych tabelach dekompresyjnych. Obliczenie wartości przesylenia sprowadza się do rozwiązania prostego równania liniowego $M = \Delta M \cdot \text{głębokość} + M_0$, w którym współczynniki M są charakterystyczne dla danej tkanki teoretycznej. M, czyli maksymalne dopuszczalne przesylenie tkanki dla danego gazu obojętnego jest sumą nasycenia zerowego M_0 oraz iloczynu ciśnienia absolutnego i współczynnika ΔM [11].

Dekompresja nurkowań saturowanych różni się w zasadniczy sposób od tej wykorzystywanej do nurkowań krótkotrwałych dynamiką rozsylenia tj. powolnym obniżaniem ciśnienia w długim przedziale czasowym. W przypadku nurkowań saturowanych opracowanie metody dekompresji z zasady opiera się o jedną wiodącą tkankę o relatywnie długim czasie połowicznego rozsylenia zakładając, że w pozostałych tkankach nie wystąpią przesylenia krytyczne, co w niektórych modelach nie jest pewne [11]. Większość modeli dekompresji nurkowań saturowanych oparta jest o ciągłe, wolne obniżanie ciśnienia ze zmienną szybkością w danych przedziałach ciśnień (np. 1,8mH₂O/godz., 1,5mH₂O/godz. 1,2mH₂O/godz. do 0,90 mH₂O dla tabel US Navy). Modele dekompresji nurkowań saturowanych stosują klasyczne metody obliczenia, przy czym w tym typie nurkowania przyjmuje się jako wiodącą tkankę teoretyczną o czasach połowicznego rozsylenia/nasylenia 240 min do 480min.

Pierwsze modele dekompresji nurkowań saturowanych były przystosowane do nurkowania z zastosowaniem podwodnych habitatów utrzymywanych na danej głębokości. Nawyki z modeli dekompresji

maximum inert gas that a given tissue can tolerate at a given ambient pressure without showing signs of decompression sickness. This method is also used in contemporary decompression tables. Calculating the value of supersaturation boils down to solving a simple linear equation $M = \Delta M \cdot \text{depth} + M_0$... in which the coefficients M are specific to a given theoretical tissue. M, or the maximum permissible tissue supersaturation for a given inert gas, is the sum of the zero saturation M_0 and the product of the absolute pressure and the coefficient ΔM [11].

The decompression of saturation dives differs fundamentally from that used for short-duration dives in the dynamics of desaturation, i.e. the slow reduction of pressure over a long time interval. In the case of saturation diving, the development of the decompression method is, as a rule, based on one leading tissue with a relatively long saturation half-life, assuming that there will be no critical supersaturation in the remaining tissues, which is not certain in some models [11]. Most decompression models for saturation dives are based on continuous, slow depressurization with varying rates over given pressure ranges (e.g., 1.8mH₂O/hr, 1.5mH₂O/hr, 1.2mH₂O/hr to 0.90 mH₂O for US Navy tables). Decompression models for saturation dives use classical calculation methods, with this type of diving taking a theoretical tissue as the leading tissue with saturation half-times of 240min to 480min.

The first decompression models for saturation dives were adapted for diving using underwater habitats maintained at a given depth. The habits from the decompression models of short-duration diving, in which there is no possibility of smooth pressure changes, caused the first models to use fractional decompression, which was replaced by continuous decompression with time and experience gained. It has not been resolved which decompression is more effective, whether a step-by-step dosage of the saturation gradient or a smooth variation of this gradient [1]. The first experiments in the application of saturation diving using habitats required a surface base and a connection to that base, as well as a base power supply to protect the divers' vital processes. The decompression process of the aquanaut divers was associated with the ascent of the habitat, which required abrupt decompression. Such a solution for the implementation of decompression made it dependent on hydrometeorological conditions. Therefore, most of the experimental saturation dives took place in lakes or sheltered sea areas.

EFFECT OF OXYGEN WINDOW ON DECOMPRESSION IN SATURATION DIVING

The oxygen window is also used in the decompression of saturation dives. Carbon dioxide, as a metabolic product, is removed from the body. It is 25 times more soluble in blood plasma than oxygen and, according to Henry's law, has a lower partial pressure. Such a distribution of partial pressures in the tissues and circulatory system provides a pressure difference between the pressure in the alveoli and the capillary system in the body's tissues. In the decompression of saturation dives, the level of oxygen partial pressure plays an important role. It is limited by the physiological effects of oxygen in terms of partial pressure and exposure time. During compression-decompression, active gases

nurkowań krótkotrwałych, w których brak jest możliwości płynnej zmiany ciśnienia spowodowały, że pierwsze modele stosowały dekompresję frakcjonowaną, którą z biegiem czasu i zdobywanym doświadczeniem zastąpiono dekompresją ciągłą. Nie rozstrzygnięto, która dekompresja jest bardziej efektywna czy dozużając skokowo gradient rozszerzenia, czy płynna zmiana tego gradientu [1]. Pierwsze doświadczenia z zastosowania nurkowań saturoowanych stosujących habitaty wymagały bazy powierzchniowej oraz połączenia z tą bazą, a także podstawowego zasilania zabezpieczającego procesy życiowe nurków. Proces dekompresji nurków-akwanautów związany był z wynurzeniem habitatu, co wymagało dekompresji skokowej. Takie rozwiązanie realizacji dekompresji uzależniało ją od warunków hydrometeorologicznych. Dlatego też większość doświadczalnych nurkowań saturoowanych odbywała się na jeziorach lub osłoniętych akwenach morskich.

WPLYW OKIENKA TLENOWEGO NA DEKOMPRESJĘ W NURKOWANIU SATUROWANYM

Okienko tlenowe jest również wykorzystywane w dekompresji nurkowań saturoowanych. Dwutlenek węgla, jako produkt metabolizmu jest usuwany z organizmu. Jest on 25 razy lepiej rozpuszczalny w osoczu krwi niż tlen i zgodnie z prawem Henry'ego wywiera mniejsze ciśnienie parcjalne. Taki rozkład ciśnień parcjalnych w tkankach i układzie krążenia zapewnia różnicę ciśnień pomiędzy ciśnieniem w pęcherzykach płucnych i systemem naczyń włosowatych w tkankach organizmu. W dekompresji nurkowań saturoowanych ważną rolę odgrywa poziom ciśnienia parcjalnego tlenu. Jest on ograniczony fizjologicznymi działaniami tlenu w aspekcie ciśnienia parcjalne i czas oddziaływania. Podczas kompresji-dekompresji aktywne gazy (tlen, dwutlenek węgla, para wodna) są wymieniane przez gazy obojętne do czasu ustabilizowania się okienka na nowym poziomie ciśnienia otoczenia. Dzięki odpowiedniemu rozłożeniu przystanków dekompresyjnych (przy wzięciu pod uwagę wrodzonego niedosycenia) można utrzymywać całkowitą prężność gazów w tkankach zbliżoną do ciśnienia otoczenia [12]. Takie podejście do dekompresji nosi nazwę „wynurzenie bez przesylenia”. Jest to działanie bardzo bezpieczne, zwłaszcza dla nurkowań saturoowanych, ale zabiera bardzo dużo czasu w porównaniu do wynurzenia z ograniczonym przesyleniem, które zostało wprowadzone w algorytmach dekompresji nurkowań krótkotrwałych.

Pobyt na plateau saturacji oraz pobyt w toni wodnej i dzwonie wymagają różnych mieszanin oddechowych. Ponadto, ilość rodzajów mieszanin stosowanych różni się w zależności od głębokości i technologii nurkowania saturowanego. Np. podczas kompresji stosuje się tzw. mieszaninę startową lub mieszaniny, które stosowane są w procesie kompresji. Skład mieszanin musi być tak dobrany, by nie przekroczyć określonego ciśnienia parcjalnego tlenu tak w procesie pobytu na plateau jak i podczas pracy na głębokości. Następną grupą są mieszaniny awaryjne, stosowane dla procedur leczniczych i stanów awaryjnych. W doborze mieszanin wykorzystujemy okienko tlenowe. Jeśli praca nurka odbywa się na różnych głębokościach niż głębokość plateau saturacji, to skład mieszanin roboczych wykorzystuje okienko tlenowe by powrócić nurka do dzwonu nie wymagał stosowania dekompresji,

(oxygen, carbon dioxide, water vapor) are replaced by inert gases until the window stabilizes at the new ambient pressure level. By properly scheduling the decompression stops (taking into account the inherent undersaturation), the total tissue gas pressure can be maintained to be close to ambient pressure [12]. This approach to decompression is called "ascent without supersaturation." It is known to be very safe, especially for saturation dives, but it takes a very long time compared to ascent with limited supersaturation, which has been introduced in decompression algorithms for short-duration dives.

Staying on the saturation plateau and stays in the water depth and the bell require different breathing mixtures. In addition, the number of types of mixtures used varies depending on the depth and technology of saturation diving. For example, during compression, the so-called starting mixture or mixtures that are used in the compression process are employed. The composition of the mixtures must be selected in such a way as not to exceed a certain partial pressure of oxygen both in the process of staying on the plateau and while working at depth. The next group is emergency mixtures, used for treatment procedures and emergency conditions. In the selection of mixtures, we use the oxygen window. If the diver's work takes place at different depths than the saturation plateau depth, the composition of working mixtures uses the oxygen window to make the diver's return to the bell not require decompression, or to shorten it. In the existing and used decompression tables of saturation plateau dives, the oxygen partial pressure is taken to be 30kPa to 45kPa (0.3ata to 0.45ata). During decompression from 40kPa to 50kPa. In one case even 60kPa with the condition that decompression must not last longer than 56 h. In technically saturated dives it is possible to use isobaric decompression in which for 3-4 h on the saturation plateau the oxygen partial pressure is raised, for example, from 40kPa to 50kPa (0.4 to 0.5 ata). This allows the pressure to drop faster in the first phase of decompression [13].

SATURATION DIVING PHASES

DECOMPRESSION PHASE

In order to bring the divers' compression to the saturation plateau pressure within a certain time, the operation is performed slowly for two reasons. First, the compression phase is strictly programmed to maintain physiological requirements. This is carried out very slowly as compared to standard dives, from 10 to 15 m/hr, or even slower in the case of very deep dives (time defined by days due to the high pressure neurological syndrome, HPNS). The second factor lies in the technical capabilities of the diving system, and the need to ensure the comfort parameters of the chamber's atmosphere. The chamber must be technically prepared to homogenize the fed starting mixtures and control the composition of the atmosphere through forced gas circulation for continuous regeneration and to maintain the parameters with increasing pressure, so that after reaching the decompression plateau and the divers' adaptation time (from 12 to 24 hours), they can proceed to perform underwater tasks, i.e. transfer to the bell and descend.

lub w celu jej skrócenia. W istniejących i stosowanych tabelach dekompresji nurków saturowanych na plateau saturacji za ciśnienie parcjalne tlenu przyjmuje się od 30kPa do 45kPa (0,3ata do 0,45ata). Podczas dekompresji od 40kPa do 50kPa. W jednym przypadku nawet 60kPa z uwarunkowaniem, że dekompresja nie może trwać dłużej niż 56 godz. W nurkowaniach saturowanych technicznie jest możliwe zastosowanie dekompresji izobarycznej w której na 3-4 godz na plateau saturacji podnosi się ciśnienie parcjalne tlenu np. z 40kPa do 50kPa (0,4 do 0.5 ata). Pozwala to na szybsze obniżanie ciśnienia w I fazie dekompresji [13].

FAZY NURKOWANIA SATUROWANEGO

FAZA KOMPRESJI

Dla sprężenia nurków do ciśnienia plateau saturacji w określonym czasie operacja ta jest wykonywana wolno z dwóch względów. Po pierwsze faza kompresji jest ściśle programowana tak, by utrzymać wymogi fizjologiczne. Trwa to w stosunku do nurków standardowych bardzo wolno, od 10 do 15 m/godz. lub nawet wolniej w przypadku nurków bardzo głębokich (czas określony dobami ze względu na zespół neurologiczny wysokich ciśnień HPNS). Drugim czynnikiem są techniczne możliwości systemu nurkowego, oraz konieczność zapewniania parametrów komfortu atmosfery komory. Komora musi być technicznie przygotowana do homogenizacji podawanych mieszanin startowych i kontroli składu atmosfery poprzez wymuszoną cyrkulację gazów dla ciągłej regeneracji oraz utrzymania parametrów przy zwiększającym się ciśnieniu, tak by po osiągnięciu plateau dekompresji i czasu adaptacji nurków (od 12 do 24 godzin) mogli oni przystąpić do wykonywania zadań podwodnych, tj. przejść do dzwonu i zanurzyć się.

POBYT NA PLATEAU

Pobyt na plateau wymaga utrzymania parametrów z określoną dokładnością przy cyrkulacji strumienia regeneracji, zmiennych stanach eksploatacyjnych komory takich jak sen nurków, przygotowanie nurków do pracy, zabiegi higieniczne, odpoczynek itp. Czynności życiowe mają istotny wpływ na parametry atmosfery komory. Np. wysiłek fizyczny zwiększa zużycie tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla, podczas kąpieli zwiększa się wilgotność, podobnie jak po powrocie z pracy w toni wodnej suszenie skafandrów i ocieplaczy. Parametrami stanu atmosfery są ciśnienie plateau, saturacja, temperatura, wilgotność, ciśnienie parcjalne tlenu i CO₂. Komfort cieplny w warunkach atmosfery helowej narzuca dokładność pomiaru w/w parametrów, ale organiczny jest z kolei wielkością strumienia regeneracji tak, by w atmosferze szczególnie helowej nurkowie nie odczuwali dyskomfortu cieplnego przy silnym strumieniu oraz hałasu spowodowanego przepływem gazu.

DEKOMPRESJA

Dekompresja jest z reguły procesem wielodobowym. Może być realizowana w sposób ciągły lub skokowy (frakcjonowany). W tym procesie dynamicznym muszą być utrzymywane na stałym poziomie

STAY AT THE PLATEAU

Staying at the plateau requires maintaining the parameters with a certain accuracy with the circulation of the regeneration stream, variable operating states of the chamber such as sleep of divers, preparation of divers for work, hygiene procedures, rest, etc. Life activities have a significant impact on the parameters of the chamber's atmosphere. For instance, physical exertion increases oxygen consumption and carbon dioxide release, humidity increases during bathing, as does the drying of wetsuits and warmers after returning from work in the water depths. The parameters of the state of the atmosphere are plateau pressure, carbonation, temperature, humidity, oxygen and CO₂ partial pressure. Thermal comfort under helium atmospheric conditions dictates the accuracy of the measurement of the aforementioned parameters, but is in turn limited by the size of the regeneration flow such that, especially in helium atmospheres, divers do not experience thermal discomfort with a strong flow as well as related to the noise caused by the flow of gas.

DECOMPRESSION

Decompression is generally a multi-day process. It can be implemented in a continuous or incremental (fractional) manner. In this dynamic process, the parameters, e.g. pO₂, pCO₂, must be kept constant, which, while securing the social needs of divers, complicates the process of its implementation. For example, the rate of depressurization during decompression varies from 1.8 to 0.6 m/hr, or in gradual decompression from 0.6 to 1.8 - 2m increments per hour. During decompression, we maintain a constant partial pressure of oxygen, which involves its proper dosage. Lowering the pressure changes the properties of the gases that affect measurement systems. For instance, the permissible content of carbon dioxide and oxygen when the total pressure is lowered increases, forcing the maintenance of reserves of multiple reference gases to control the readings of analyzers of these gases. After reaching 15m H₂O, due to the fire hazard, the oxygen content is maintained at 20-22%, which extends the decompression process as the effect of the oxygen window decreases.

VERIFICATION AND VALIDATION OF DECOMPRESSION TABLES OF SATURATION DIVES

In accordance with the provisions of the Declaration of Helsinki, after positive results of pressure effects studies on animals, the initiation of decompression studies involving humans requires the approval of a dedicated body assessing the risk to health and/or life of those participating in the experiment. Such approval for human research must be obtained for conducting decompression studies on divers. The Code of Medical Ethics, Law on the Profession of Physician and Dentist of December 5, 1996, specifies in Art. 41a the following: „A physician who conducts scientific research, in particular medical experiments, should comply with the standards and obligations of the Code of Medical Ethics and generally accepted principles of scientific research ethics." Medical research conducted with human subjects can be divided into two main types - intervention and observational studies. Intervention studies evaluate the

parametry np. pO_2 , pCO_2 , co przy równoczesnym zabezpieczeniu potrzeb socjalnych nurków komplikuje proces jej przeprowadzenia. Dla przykładu, szybkość obniżania ciśnienia podczas dekompresji zmienia się od 1,8 do 0,6 m/godz., lub przy dekompresji skokowej od 0,6 do 1,8 - 2m skok na godzinę. Podczas dekompresji utrzymujemy stałe ciśnienie parcjalne tlenu, co wiąże się z jego dozowaniem. Obniżanie ciśnienia zmienia właściwości gazów, które wpływają na układy pomiarowe. Np. dopuszczalna zawartość dwutlenku węgla i tlenu przy obniżeniu ciśnienia ogólnego rośnie, co wymusza utrzymywanie zapasów wielu gazów wzorcowych dla kontroli wskazań analizatorów tych gazów. Po osiągnięciu 15m H₂O ze względu na zagrożenie pożarowe utrzymuje się zawartość tlenu w granicach 20-22%, co wydłuża proces dekompresji, gdyż obniża się działanie okienka tlenowego.

WERYFIKACJA I WALIDACJA TABEL DEKOMPRESJI NURKOWAŃ SATUROWANYCH

Zgodnie z postanowieniami Deklaracji Helsińskiej po uzyskaniu pozytywnych wyników badań wpływu ciśnienia na zwierzętach rozpoczęcie badań dekompresji z udziałem ludzi wymaga zgody specjalnego gremium oceniającego ryzyko utraty zdrowia i/lub życia osób biorących udział w tym eksperymencie. Takową zgodę na badania na ludziach należy uzyskać dla prowadzenia badań dekompresji nurków. Kodeks Etyki Lekarskiej, UZL - Ustawa z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentystry, określa w Art. 41a. „Lekarz przeprowadzający badania naukowe, a w szczególności eksperymenty medyczne, powinien przestrzegać norm i obowiązków wynikających z Kodeksu Etyki Lekarskiej oraz ogólnie przyjętych zasad etyki badań naukowych”. Badania medyczne prowadzone z udziałem ludzi można podzielić na dwa główne rodzaje - badania interwencyjne i obserwacyjne. W badaniach interwencyjnych ocenia się oddziaływanie na ich uczestników różnych czynników. W przypadku nurków jest to stres dekompresyjny. Po ekspozycji ciśnieniowej przeprowadza się z kolei obserwację oraz zbieranie i analizę danych. Badania interwencyjne i obserwacyjne mogą być kierowane zarówno przez lekarzy, jak i przez badaczy niebędących lekarzami. W polskich badaniach dekompresji kierowali nimi lekarze [2].

Każde tabele dekompresji wprowadzane do nurkowania (nie tylko komercyjnego) obligatoryjnie muszą być weryfikowane i walidowane w celu zapewnienia ich dokładności, odpowiedniości i najważniejszego wskaźnika tj. bezpieczeństwa. Dla każdego tabel określa się warunki fizjologiczne i techniczne ich realizacji. Przy tworzeniu modeli dekompresyjnych wymaga się określenia kinetyki wymiany gazowej oraz kryteriów jakości dekompresji. Kinetyka wymiany gazowej jest funkcją, w której przelicza się profil nurkowania na skumulowaną dawkę dekompresyjną, którą jest prężność gazu rozpuszczonego w tkance teoretycznej [14]. Teoria i doświadczenie pokazuje nam, że nie istnieją tabele dekompresyjne w 100% bezpieczne, a bezpieczeństwo tabel określa się poprzez podanie prawdopodobieństwa wystąpienia incydentu dekompresyjnego. Takie podejście pomija zjawisko bardzo mało zbadane, jakim są odległe skutki nurkowania. W odniesieniu do nurkowań saturovaniych od początku ich stosowania nie znano metody umożliwiającej porównawczą ocenę systemów z punktu

effects of various factors on their participants. In the case of divers, this is decompression stress. Following an exposure to pressure, in turn, observation and data collection and analysis are carried out. Intervention and observational studies can be directed by both physicians and non-physician researchers. In Polish decompression studies, these have been led by physicians [2].

Each decompression table introduced into diving (not only commercial) obligatorily has to be verified and validated to ensure its accuracy, suitability and the most important indicator, i.e. safety. For each table, physiological and technical conditions for their implementation are defined. When creating decompression models, gas exchange kinetics and decompression quality criteria need to be defined. Gas exchange kinetics is a function that converts the dive profile into a cumulative decompression dose, which is the dissolved gas pressure in theoretical tissue [14]. Theory and experience show us that no decompression tables are 100% safe, and the safety of the tables is determined by specifying the probability of a decompression incident. Such an approach ignores a phenomenon that is very little studied, namely the distant effects of diving. With regard to saturation diving, from the beginning of its use, no method was known that would allow a comparative evaluation of the systems from the point of view of the exposure of divers to early or late symptoms of decompression sickness. Moreover, until the 1980s, the reliability of decompression systems was not statistically evaluated [13]. The gas pressure in the theoretical tissue is mainly a function of depth, time, partial pressure of oxygen, type of inert gas, water temperature and the diver's effort. Decompression verifications are based on two models, deterministic or statistical.

Decompression procedures of saturation dives are verified based on deterministic models. In this method, threshold criteria are defined for the tested decompression methods and procedures, which can never be exceeded. In deterministic models, the level of risk of exceeding the assumed decompression criteria is not specified. Deterministic decompression criteria usually consist of a set of maximum values of several critical variables. Any decompression program that keeps these values below the maximum value is acceptable. The final choice of decompression profile is made by the common application of the principle of minimizing decompression time.

Deterministic models are designed not allowing deviation from the proposed decompression profiles. They only allow exposures at various known in advance risk levels. The most commonly used function modeling the gas exchange model is the exponential correlation. Assumptions about gas exchange kinetics can be the same for deterministic as well as statistical models. The difference between the two approaches lies in the decompression criteria adopted. The accepted indicator of correct decompression is the absence of symptoms of decompression sickness. Symptoms of this condition never occur during descent-compression and stay under pressure, and only arise as a result of ascent, or a reduction in ambient pressure.

Statistical decompression models, as opposed to deterministic models, are based on calculating the probability of risk of DCS (decompression sickness). Statistical verification determines the level of risk that is acceptable for diver safety. In general, decompression criteria are primarily limited by variables that determine

widzenia narażenia w nich nurków na wczesne lub późne objawy choroby ciśnieniowej. Ponadto, do lat osiemdziesiątych wiarygodność systemów dekompresyjnych nie była oceniana statystycznie [13]. Prężność gazu w tkance teoretycznej jest głównie funkcją głębokości, czasu, ciśnieniu cząstkowego tlenu, rodzaju gazu obojętnego, temperatury wody i wysiłku nurka. Weryfikacje dekompresji opiera się o dwa modele, deterministyczny lub statystyczny.

Procedury dekompresyjne nurków saturowanych są weryfikowane w oparciu o modele deterministyczne. W tej metodzie określa się kryteria brzegowe dla badanych metod i procedur dekompresji, które nigdy nie mogą być przekroczone. W modelach deterministycznych nie określa się poziomu ryzyka, jakim jest przekroczenie założonych kryteriów dekompresyjnych. Deterministyczne kryteria dekompresji zwykle składają się z zestawu wartości maksymalnych kilku krytycznych zmiennych. Każdy program dekompresji, który utrzymuje te wartości poniżej wartości maksymalnej jest dopuszczalny. Ostatecznego wyboru profilu dekompresji dokonuje się poprzez powszechnie stosowanie zasady minimalizacji czasu dekompresji.

Modele deterministyczne są tak skonstruowane, że nie zezwalają na odstępianie od zaproponowanych profili dekompresji. Dopuszczają jedynie ekspozycje przy różnych, z góry znanych, poziomach ryzyka. Najczęściej stosowaną funkcją modelującą model wymiany gazowej jest zależność eksponentjalna. Założenia dotyczące kinetyki wymiany gazowej mogą być takie same zarówno dla modeli deterministycznych jak i statystycznych. Różnica pomiędzy tymi dwoma podejściami leży w przyjętych kryteriach dekompresji. Przyjętym wskaźnikiem prawidłowości dekompresji jest brak symptomów choroby ciśnieniowej. Symptomy tej choroby nigdy nie występują podczas zanurzania-sprężania i pobytu pod ciśnieniem, a powstają dopiero jako rezultat wynurzenia, lub zmniejszenia ciśnienia otoczenia.

Statystyczne modele dekompresyjne, w przeciwieństwie do deterministycznych, oparte są na obliczaniu prawdopodobieństwa ryzyka wystąpienia choroby ciśnieniowej DCS (skrót choroby ciśnieniowa z ang. decompression sickness). Weryfikacja statystyczna określa poziom ryzyka, który jest do przyjęcia dla bezpieczeństwa pracy nurka. Ogólnie, kryteria dekompresji ograniczone są przede wszystkim wartościami zmiennych, które określają jak należy rozłożyć głębokości i czasy postoju na stacjach dekompresyjnych, tak by ograniczyć maksymalną wartość ciśnienia parcjalego gazu obojętnego w tkankach teoretycznych podczas dekompresji.

Statystyczne kryteria dekompresji ograniczone są poprzez dopuszczalny poziom ryzyka dla dowolnego rozkładu dekompresji. Każdy rozkład dekompresji, który nie przekracza określonego poziomu ryzyka, jest do zaakceptowania. Zastosowanie modeli statystycznych opiera się na obliczaniu aktualnego prawdopodobieństwa zaistnienia DCS. Prawdopodobieństwo to nie jest wykorzystywane jedynie do oceny i zatwierdzania modelu, ale także daje ilościową miarę jakości dopasowania matematycznego modelu teoretycznego do danych eksperymentalnych pod względem przewidywania zagrożenia DCS [13].

Akceptację danego sposobu dekompresji opiera się o ilość incydentów dekompresyjnych lub ilości i wielkości pęcherzyków gazowych występujących we

how depths and stop times at decompression stations should be distributed so as to limit the maximum value of the partial pressure of inert gas in the theoretical tissues during decompression.

Statistical decompression criteria are limited by an acceptable risk level for any decompression schedule. Any decompression schedule that does not exceed a certain risk level is acceptable. The use of statistical models is based on calculating the current probability of DCS occurrence. This probability is not only used to evaluate and validate the model, but also yields a quantitative measure of the quality of alignment between the mathematical theoretical model and experimental data in terms of predicting DCS risk [13].

Acceptance of a given decompression method is based on the number of decompression incidents or the number and size of gas bubbles present in the venous blood. The description of the phenomena accompanying decompression is a complex matter due to the lack of precise, unambiguous measurement methods that measure the processes occurring in the tissues of a living organism. Mathematical methods used to describe decompression tend to depict only approximate processes occurring during decompression. Such a description usually consists in fitting a relatively simple mathematical function to experimental data as accurately as possible. Such mathematical models should be considered only as a way of anticipating how to decompress safely, not as a reflection of physiological processes [15]. The commonly used way of evaluating decompression tables is based not on physiological criteria, but on pathophysiological ones, i.e. on symptoms of decompression sickness. As a consequence, the exponent of the tables' usefulness is essentially an arbitrarily accepted incidence of type I decompression sickness [1]. Meanwhile, any new diving technology requires the development of a decompression system appropriate for it, and thus the performance of certain studies with human subjects. Such studies definitely have the character of "health-risking experimental research." E.g., decompression classics Homer and Weathersby specify as confirmation that no more than 7% of decompression sickness cases will occur in the decompression system being evaluated. With a 95% confidence interval required, it is necessary to run 40 trials without incidents. With the same confidence interval, a successful run of 20 decompression attempts can only predict that the actual incidence of pressure sickness will be in the range of up to 17%. In contrast, obtaining confirmation that the incidence of cases in the decompression system under study will not exceed 5% requires hundreds of tests.

On this basis, the researchers of the subject expressed the view that it is impossible to validate the decompression tables of saturation dives with the required reliability without "considerable financial and human resources." The consequence of the specified correlations is the length of such a testing cycle, which is also confirmed by the cycle of our subsequent programs. The period of such testing should last 15 years with the application of large financial resources [3].

The presented methods of statistical evaluation of decompression (reducing the number of attempts) have become an undeniable achievement, but they offer only a partial solution to the problem of assessing divers' exposure to decompression sickness. First, they do not allow to express an opinion on the method of saturation

krwi żyłnej. Opis zjawisk towarzyszących dekompresji jest sprawą złożoną ze względu na brak precyzyjnych, jednoznacznych metod pomiarowych, mierzących procesy zachodzące w tkankach żywego organizmu. Matematyczne sposoby opisu dekompresji opisują tylko przybliżone procesy zachodzące podczas dekompresji. Opis taki polega najczęściej na możliwie jak najdokładniejszym dopasowaniu do danych eksperymentalnych stosunkowo prostej funkcji matematycznej. Takie modele matematyczne należy traktować jedynie jako sposób antycypowania sposobu bezpiecznej dekompresji, nie zaś jako odbicie procesów fizjologicznych [15]. Powszechnie stosowany sposób oceny tabel dekompresyjnych opiera się nie na kryteriach fizjologicznych, lecz na patofizjologicznych, czyli na objawach choroby ciśnieniowej. W następstwie tego wykładnikiem przydatności tabel jest w zasadzie dowolnie akceptowana częstotliwość przypadków choroby ciśnieniowej I-go typu [1]. Natomiast, każda nowa technologia nurkowania wymaga opracowania właściwego dla niej systemu dekompresji, a co za tym idzie, przeprowadzenia określonych badań z udziałem ludzi. Badań, które mają zdecydowanie charakter „narażających zdrowie badań doświadczalnych”. Np. klasycy dekompresji Homer i Weathersby określają dla potwierdzenia, że w ocenianym systemie dekompresji nie wystąpi więcej aniżeli 7% przypadków choroby ciśnieniowej. Przy 95% wymaganym przedziale ufności, należy przeprowadzić 40 bez incydentalnych prób. Przy tym samym przedziale ufności pomyślny przebieg 20-tu prób dekompresyjnych pozwala jedynie przewidywać, że rzeczywista zapadalność na chorobę ciśnieniową będzie się mieścić w przedziale do 17%. Natomiast uzyskanie potwierdzenia, że częstotliwość przypadków w badanym systemie dekompresji nie przekroczy 5% wymaga przeprowadzenia setek badań.

Na tej podstawie badacze problemu wyrazili pogląd, że nie da się walidować tabel dekompresyjnych nurkowań saturowanych z wymaganą wiarygodnością bez „wielkich zasobów finansowych i ludzkich”. Konsekwencją podanych zależności jest długotrwałość takiego cyklu badań, którą potwierdza również cykl naszych kolejnych programów. Okres takiego testowania trwać powinien 15 lat przy stosowniu dużych nakładów finansowych [3].

Przedstawione metody statystycznej oceny dekompresji (redukujące liczbę prób) stały się niezaprzeczalnym osiągnięciem, jednakże problem oceny narażenia nurków na chorobę ciśnieniową rozwiązują tylko częściowo. Po pierwsze, nie pozwalają na wyrażenie opinii o metodzie dekompresji saturowanej bez równoczesnej znajomości liczby przypadków choroby ciśnieniowej i liczby nurkowań (które to dane są zwykle niedostępne). Po drugie przy nie stwierdzeniu przypadków choroby ciśnieniowej w porównywalnych systemach dekompresji nawet przy znacznej liczbie prób (10 – 20) nie pozwalają na ustalenie, który z nich jest poprawniejszy. Z powyższego wynika, że porównawcza ocena bezpieczeństwa nurków w systemach dekompresji znajduje się często poza zasięgiem metod statystycznych. Poza ich zasięgiem znajduje się również ocena nowoprojektowanych systemów [1].

Przed rozpoczęciem programu badań na realizatorach ciąży obowiązek odpowiedzi na pytanie czy odpowiedzialność moralna i prawna związana z realizacją programu badania eksperymentalnego nad nową technologią nurkowań i sposobem dekompresji zostanie zrównoważona osiągniętymi wynikami. Podejmując

dekompression without simultaneous knowledge of the number of cases of decompression sickness and the number of dives (which data are usually unavailable). Secondly, with no cases of decompression sickness found in comparable decompression systems even with a significant number of attempts (10 - 20), they do not allow to determine which of them is more correct. It is clear from the above that the comparative assessment of diver safety in decompression systems is often beyond the reach of statistical methods. Also beyond their reach is the evaluation of newly designed systems [1].

Before embarking on a research programme, it is incumbent on the implementers to answer the question of whether the moral and legal responsibility associated with implementing an experimental research programme on a new diving technology and decompression method will be balanced by the results achieved. When undertaking the research, we were faced with a dilemma in Poland, as in other countries, whether to embark on our own research with a difficult-to-predict outcome, or to choose the best of the saturation decompression methods already in use. Polish decompression research in its pioneering phase was based on data acquired from the West, with incomplete information due to lack of access to research results (the so-called "Iron Curtain").

GENERAL TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL RESEARCH PROBLEMS OF IMPLEMENTING SATURATION DIVING

In order for divers to be able to safely penetrate and explore the bottoms of the seas and oceans, they use increasingly sophisticated equipment and complex systems to support their stay in the depths. Among the group of main equipment supporting divers are sets of facilities formerly known as complexes, or, in modern times, diving systems. Their main components are decompression chambers, also called hyperbaric chambers.

The diving system is the place where divers rest and recuperate. Thus, appropriate microclimate and thermal comfort conditions must be created for them, similar to those in normobaric conditions. At the same time, the spaces of the diving system must provide room for putting on diving equipment, transporting the diver to work, his return to the saturation plateau and performing post-dive activities such as checking and maintaining the equipment and preparing the equipment for the subsequent dive.

The microclimate of the hyperbaric environment consists of:

- pressure prevailing in the hyperbaric chamber,
- humidity prevailing in the hyperbaric chamber,
- temperature prevailing in the hyperbaric chamber,
- flow rate of the respiratory agent,
- type of breathing medium used, determining the partial pressure of oxygen and its content in the lower and upper limits,
- pollutants – especially CO₂ (formed by the diver's exhaling as a product of metabolism. This is an important parameter that speaks to the need for ventilation and regeneration of the atmosphere).

As a result of gas exchange in the lungs, divers exhale carbon dioxide into the chamber. Given the limited volume of the habitat, this contamination accumulates,

badania mieliśmy w Polsce dylemat podobnie jak w innych krajach, czy rozpoczynać badania własne o trudnym do przewidzenia wyniku, czy też wybrać najlepszą z już stosowanych metod dekompresji saturowanych. Polskie badania nad dekompresją w pionierskiej fazie opierały się o dane zdobywane z Zachodu, przy braku pełnej informacji ze względu na brak dostępu do wyników badań (tzw. „żelazna kurtyna”).

OGÓLNE PROBLEMY BADAWCZE TECHNICZNE I ORGANIZACYJNE WDROŻENIA NURKOWAŃ SATUROWANYCH

Aby nurkowie mogli w bezpieczny sposób penetrować i eksplorować dna mórz i oceanów, używają coraz bardziej skomplikowanego sprzętu oraz rozbudowanych układów i systemów wspomaganie ich pobytu w toni wodnej. Do grupy podstawowych urządzeń wspomagających pracę nurków należą zestawy urządzeń zwane dawniej kompleksami, lub współcześnie systemami nurkowymi. Głównymi ich elementami są komory dekompresyjne zwane też hiperbarycznymi.

System nurkowy jest miejscem, w którym nurkowie odpoczywają i regenerują siły. Muszą im zatem zostać stworzone odpowiednie warunki mikroklimatu i komfortu cieplnego, zbliżone do tych, jakie panują w warunkach normobarycznych. Jednocześnie przestrzeń systemu nurkowego musi zapewnić miejsce na ubranie sprzętu nurkowego, transport nurka do pracy, jego powrót na plateau saturacji oraz wykonanie czynności po nurkowaniu takich jak sprawdzanie i konserwacja sprzętu oraz przygotowanie sprzętu do następnego nurkowania.

Na mikroklimat środowiska hiperbarycznego składa się:

- ciśnienie panujące w komorze hiperbarycznej,
- wilgotność panująca w komorze hiperbarycznej,
- temperatura panująca w komorze hiperbarycznej,
- prędkość przepływu czynnika oddechowego,
- rodzaj stosowanego czynnika oddechowego, określającego ciśnienie parcjale tlenu i jego zawartość w dolnych i górnych granicach,
- zanieczyszczenia - szczególnie CO₂ (powstający w wyniku wydalania przez nurka jako produkt przemian metabolicznych. Jest to istotny parametr, który mówi o potrzebie wentylacji i regeneracji atmosfery).

W wyniku wymiany gazowej w płucach, nurkowie wydychają dwutlenek węgla do wnętrza komory. Ze względu na określoną objętość habitatu zanieczyszczenie to gromadzi się, powodując zagrożenie dla zdrowia nurków.

Zasadniczym celem regeneracji jest więc oczyszczanie atmosfery oddechowej i utrzymywanie warunków mikroklimatu poprzez wymianę określonych objętości zużytego gazu na świeży.

Do podstawowych funkcji urządzeń systemu nurkowego należą:

- usuwanie zanieczyszczeń powstających na drodze fizjologicznej, w tym dwutlenku węgla i innych produktów metabolizmu,
- usuwanie zagrożeń biologicznych, spowodowanych florą bakteryjną i grzybiczną,

- causing health risks for divers.
- The primary purpose of regeneration, therefore, is to purify the breathing atmosphere and maintain microclimate conditions by replacing certain volumes of used gas with fresh gas.

The primary functions of diving system equipment include:

- removal of physiologically generated pollutants, including carbon dioxide and other products of metabolism,
- removal of biological hazards, caused by bacterial and fungal flora,
- removal of pollutants generated during the operation of the complex,
- supplementing the oxygen consumed by divers by feeding and spreading it in the habitat,
- maintaining a homogeneous composition of the breathing atmosphere in the entire complex,
- use of breathing equipment with minimal consumption of breathing mixtures,
- selection of breathing mixtures with respect to the saturation plateau, the diver's work in the depth zone of the underwater task acceptable for physiological reasons and the breathing resistance of the breathing equipment,
- maintaining and regulating the divers' thermal comfort and the microclimate of the hyperbaric space of the bell and chamber,
- using active heating of divers' suits, allowing the diver to stay in the depths for several hours. [16,17].

The research and development along with the construction of a safe and utilitarian diving system for saturation diving has required involvement of a wide range of specialties. This entails the participation of scientists, engineers, technicians, organizer-managers, theoreticians and practitioners from such sciences as medicine (including underwater medicine), mechanics, materials engineering, ergonomics, specialists in safety systems, communications, hydroacoustics, metrology, psychology, etc.

The Polish story seems to contradict the above conditions. In the Polish version of the research, the volitional element was important, in which the most vital and basic element is the people fascinated by bathynautics. Their persistence and ability to overcome difficulties and realize their vision were and are at the highest level with the simultaneous passivity or sometimes even total lack of involvement on the part of academics dealing with the issue. The problem was taken up largely by people engaged in amateur diving, joined by a handful of specialists and professional divers. These were enthusiasts, passionate divers, working underwater with admirable courage. These individuals were the driving force behind the team solving the problem of new-type diving. This team was joined by pragmatic people, eager for success not only in financial terms, but also sharing a desire for adventure, and ordinary people who were drawn to participate in the programme aimed at introducing progress. It was under such conditions that the first saturation dives took place in our country, admired around the world, yet received with surprise due to the adopted plateau parameters of saturation at too great depths using air. Even more surprising was the fact

- usuwanie zanieczyszczeń powstających w czasie eksploatacji kompleksu,
- uzupełnienie konsumowanego przez nurków tlenu poprzez jego dozowanie i rozprzestrzenianie w habitacie,
- utrzymywanie jednorodnego składu atmosfery oddechowej w całej objętości kompleksu,
- zastosowanie sprzętu oddechowego o minimalnym zużyciu mieszanin oddechowych,
- dobór mieszanin oddechowych do plateau saturacji, pracy nurka w strefie głębokości zadania podwodnego dopuszczalnego ze względów fizjologicznych oraz oporów oddechowych sprzętu oddechowego,
- utrzymanie i regulowanie komfortu cieplnego nurków oraz mikroklimatu przestrzeni hiperbarycznej dzwonu i komory,
- zastosowanie aktywnego ogrzewania skafandrów nurków, pozwalającego na kilkugodzinne przebywanie nurka w toni wodnej [16,17].

Badania i opracowanie oraz zbudowanie bezpiecznego i użytecznego systemu nurkowego do nurkowań saturowanych wymagały i wymagają szerokiego spektrum specjalizacji. Mowa tu o udziale naukowców, inżynierów, techników, organizatorów-menadżerów, teoretyków i praktyków z takich nauk jak medycyna (w tym medycyna podwodna), mechanika, inżynieria materiałowa, ergonomia, specjalistów do spraw systemów bezpieczeństwa, łączności, hydroakustyki, metrologii, psychologii itp.

Polska historia jest jakby zaprzeczeniem wyżej podanych uwarunkowań. W polskiej odsłonie badań ważnym był element wolicjonalny, w którym najważniejszym i podstawowym elementem są ludzie zafascynowani batyanutyką. Ich upór i zdolność pokonywania trudności oraz realizowanie swojej wizji były i są na najwyższym poziomie przy równoczesnej bierności lub czasami wręcz całkowitym braku zaangażowaniu ze strony ludzi nauki zajmujących się tą problematyką. Problem podjęli ludzie głównie zajmujący się nurkowaniem amatorsko, do których dołączyli nieliczni specjaliści i nurkowie zawodowi. Byli to entuzjaści, pasjonaci nurkowania, pracujący pod wodą z godną podziwu odwagą. Ludzie ci byli siłą napędową dla ekipy rozwiązującej problem nurkowań nowego typu. Do tej ekipy dołączyli ludzie pragmatyczni, żądni sukcesu nie tylko finansowego, lecz i chęci przeżycia przygody, oraz zwykli zjadacze chleba, których pociągał udział w programie wprowadzenia postępu. W takich warunkach odbywały się pierwsze w naszym kraju nurkowania saturowane, podziwiane na świecie, a zarazem przyjmowane ze zdziwieniem ze względu na przyjęte parametry plateau saturacji na zbyt dużych głębokościach przy użyciu powietrza. Jeszcze większe zdziwienie budził fakt, że przed eksperymentem w warunkach naturalnych nie było badań laboratoryjnych ani w warunkach naturalnych (w komorach na głębokościach plateau 12m stopniowo zwiększając czas i głębokości), jak to odbywało się w krajach przodujących w tej dziedzinie [5,4,7].

that prior to the experiment under natural conditions, no laboratory tests or under natural conditions were performed (in chambers at plateau depths of 12m gradually increasing time and depths) as it was the case in countries at the forefront of this field [5,4,7].

REFERENCES

1. Doboszyński T. „Problematyka badań doświadczalnych z udziałem ludzi a wdrażana technologia nurkowania” IV Sympozjum – Nurkowanie-Problematyka Techniczna. Akademia Marynarki Wojennej. Gdynia 1994.
2. Dokumentacja techniczna i organizacyjna CPBR - 9.5 „Techniczne, medyczne i prawne problemy długotrwałego przebywania człowieka pod wodą, „Systemów podtrzymania życia kompleksu nurkowego GWK- 200”. Akademia Marynarki Wojennej. Stocznia Szczecińska im. A.Warskiego 1990r
3. R.D Vann “Comprehensive strategy for saturation decompression with nitrogen-oxygen” Workshop on Decompression from NITRIX Saturation Diving January 8-9 1985 Institute for Environmental Medicine University of Pennsylvania
4. Miller J.W ,Koblick I.G Living and Working in the sea VanNostrand Reinhold Company ISBN 0-442-26084-9 1984,
5. Miller J NOAA Diving Manual Diving of Science and Technology. 2-end edition US Government Printing Office Washington DC 1979.
6. Zespół autorów p.k.S.A.Guliar „Organizm człowieka i podwodna srodek” Zdrowie Kijew 1977
7. US Navy Diving Manual, 1991
8. Przepisy Towarzystw Klasyfikacyjnych DNV, ABS , Lloyd RS MRS z powstałych w II połowie XX wieku.
9. Bennet P.B and Elliot B.H., The Physiology and Medicine of Diving` 2, 3 edition London, Philadelphia, Toronto, Tokyo 1993
10. Vann R D „Comprehensive Strategy For Saturation Decompression with Nitrogen-Oxygen Duke Univ Medical Center Durham 1984 Feb
11. Wienke B.R. „Basic Decompression Theory and Application”. Best Publishing Company, Flagstaff. USA 1991.
12. Lambertsen N C.J.: Basic Requirements for Improving Diving Dept. and Decompression Tolerance, 21 Proceedings from Conference “Potential Advances in Deep Diving”. Baltimore, 1967.
13. Doboszyński T., Łokuciejewski B: „Tabele dekompresyjne dla trimiksowych nurków saturowanych do 120 m. wraz z zasadami rekompresji leczniczej”, CPBR-9.5. „Techniczne, medyczne i prawne problemy długotrwałego przebywania człowieka pod wodą”, Katedra Medycyny Morskiej WAM, Gdynia 1990.
14. Kenny J.E.: Business of diving. Gulf Publishing: Houston 1972 .
15. Dębski A. „Niektóre problemy batynautyczne w służbie potrzeb gospodarczych” Biuletyn Informacyjny 1-2 1975 Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
16. HAUX G.: „Underwater engineering. Balliere Tindell ISBN 0-7020-0749-8. London 1982.
17. Wymagania dotyczące parametrów technicznych kompleksu nurkowego” Centralny Program badawczo-rozwojowy 95 cel 31. Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej. Gdynia 1987.

¹ Uwaga Dla celów tego artykułu za „długotrwałe przebywanie człowieka pod ciśnieniem przyjmuje się czas większy od dopuszczalnych czasów pobytu na głębokości nurków przewidzianych w tabelach dekompresyjnych dla nurków krótkotrwałych, w tym tabel dla przypadków awaryjnych w których nastąpiło pełne nasycenie gazem obojętnym wszystkich tkanek organizmu człowieka dla danego ciśnienia otoczenia. W odróżnieniu od wykładni ustawy o wykonywaniu prac podwodnych z dnia 17 października 2003 r., długotrwałe prace podwodne to – „prace podwodne, których czas trwania przekracza 8 godzin, polegające na jednorazowym, ciągłym pozostawianiu nurka pod wpływem podwyższonego ciśnienia w czasie wykonywania prac pod powierzchnią wody i w czasie przebywania na powierzchni w komorze hiperbarycznej”. Takie określenie włącza nurkowania krótkotrwałe z użyciem powietrza i mieszanin oddechowych.

¹ Note For the purposes of this article “a long-term human stay under pressure shall be considered to be a time greater than the permissible diving depth stay times stipulated in the decompression tables for short-term diving, including the tables for emergency cases in which full saturation with inert gas of all tissues of the human body has occurred for a given ambient pressure. Contrary to the interpretation of the Law On Underwater Works of October 17, 2003, long-term underwater works are - “underwater works, the duration of which exceeds 8 hours, consisting of a single continuous diver remaining under the influence of elevated pressure while working below the water surface and while on the surface in a hyperbaric chamber.” Such a term includes short duration dives using air and breathing mixtures.

Stanisław Skrzyński
Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte 81 – 103 Gdynia 3
ul. Śmidowicza 69
tel.: +58 626 27 46,
e-mail: skrzynski@interecho.com

POSSIBLE APPLICATIONS OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY- NARRATIVE REVIEW

PRZEGLĄD MOŻLIWOŚCI TERAPEUTYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM HIPERBARYCZNEJ TERAPII TLENOWEJ

Barbara Nieradko-Iwanicka¹⁾, Daria Przybylska²⁾, Piotr Siermontowski³⁾, Cezary J. Kowalski⁵⁾, Marta Wójciak-Czuła⁴⁾, Andrzej Borzęcki¹⁾

¹⁾ Department of Hygiene and Epidemiology, Medical University of Lublin, Poland, ORCID 0000-0002-4839-6003, ORCID 0000-0001-5920-2262

¹⁾ Katedra i Klinika Dermatologii, Wenerologii i Dermatologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ORCID 0000-0002-4839-6003, ORCID 0000-0001-5920-2262

²⁾ Department of Dermatology, Venerology and Pediatric Dermatology, Independent Public Healthcare Unit No.1 in Lublin, Poland, ORCID 000-0001-9628-2919

²⁾ Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, ORCID 000-0001-9628-2919

³⁾ Department of Underwater Works Technology, Naval Academy in Gdynia, Poland

³⁾ Katedra i Zakład Higieny, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

⁴⁾ Team Ophthalmology Department Mazowiecki Szpital Brudnowski in Wasaw, Poland

⁴⁾ Zespół Oddziału Okulistycznego, Mazowiecki Szpital Brudnowski w Warszawie

⁵⁾ Department of Pharmacology, Toxicology and Environmental Protection, Faculty of Veterinary Medicine, University of Life Sciences, Lublin, Poland ORCID 0000-0003-1751-0042

⁵⁾ Katedra Farmakologii, Toksykologii i Ochrony Środowiska, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin, ORCID 0000-0003-1751-0042

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Hyperbaric oxygen therapy is a method supporting the treatment of many diseases. Oxygen therapy treatments are conducted in hyperbaric chambers, in which patients breathe pure, 100% oxygen with higher than atmospheric pressure. This allows to increase the amount of oxygen supplied to all cells of the body many times over. The treatment with hyperbaric oxygen therapy enables the patient to recover faster and be fully active, and also reduces the costs of standard treatment.

The aim of the study was to summarize the possible applications of hyperbaric oxygen therapy. The available literature in the PUBMED database was reviewed in September 2022 with the use of the phrases 'hyperbaric oxygen therapy', 'therapeutic applications'. The indications for therapy in a hyperbaric chamber are all kinds of diseases, both acute and chronic. The method supports the nourishment and regeneration of cells and tissues of the organism, and also slows down the aging process. However, due to the possible side effects of such therapy, patients should be qualified for its use after a careful analysis of their clinical condition and coexisting diseases. To sum up: hyperbaric oxygen therapy is most often used in the treatment of skin diseases and injuries, burns, and peripheral vascular diseases.

Keywords: oxygen therapy, hyperbaric chamber, COVID-19.

Hiperbaryczna terapia tlenowa jest metodą wspomagającą leczenie wielu chorób. Zabiegi tlenoterapii prowadzone są w komorach hiperbarycznych, w których chorzy oddychają czystym, 100% tlenem o wyższym od atmosferycznego ciśnieniu. Pozwala to wielokrotnie zwiększyć ilość tlenu dostarczonego do wszystkich komórek organizmu. Połączenie klasycznego leczenia z hiperbaryczną terapią tlenową ułatwia choremu szybszy powrót do zdrowia i pełnej aktywności, obniża również koszty standardowego leczenia.

Wskazaniem do terapii w komorze hiperbarycznej są wszelkiego rodzaju schorzenia, zarówno o przebiegu ostrym, jak i przewlekłym. Metoda wspomaga odżywienie i regenerację komórek i tkanek ustroju, wpływa również hamująco na proces starzenia. Ze względu jednak na możliwe działania uboczne takiej terapii, pacjenci powinni być kwalifikowani do jej zastosowania po przeprowadzeniu wnikliwej analizy ich stanu klinicznego i współistniejących schorzeń.

Słowa kluczowe: tlenoterapia, komora hiperbaryczna, COVID-19.

Гипербарическая оксигенация является вспомогательным методом лечения многих заболеваний. Процедуры оксигенации проводятся в гипербарических камерах, где пациенты дышат чистым 100% кислородом под давлением, превышающим атмосферное. Это позволяет многократно увеличить количество кислорода, доставляемого ко всем клеткам организма. Сочетание классического лечения с гипербарической оксигенацией способствует более быстрому выздоровлению и полноценной жизнедеятельности пациента, а также снижает затраты на стандартное лечение. Показания к терапии в гипербарической камере включают все виды заболеваний, как острых, так и хронических. Метод способствует питанию и регенерации клеток и тканей организма и оказывает тормозящее воздействие на процесс старения. Однако, в связи с возможными побочными эффектами такой терапии, пациенты должны быть допущены к ее применению после тщательного анализа их клинического состояния и сопутствующих заболеваний.

Ключевые слова: оксигенотерапия, барокамера, COVID-19.

Die hyperbare Sauerstofftherapie ist eine ergänzende Behandlungsmethode für viele Krankheiten. Sauerstofftherapien werden in Überdruckkammern durchgeführt, in denen die Patienten reinen, 100 %igen Sauerstoff bei einem höheren Druck als dem normalen Atmosphärendruck einatmen. Dadurch wird die Sauerstoffzufuhr zu allen Körperzellen um ein Vielfaches erhöht. Die Verbindung einer klassischen Behandlung mit der hyperbaren Sauerstofftherapie ermöglicht dem Patienten eine schnellere Genesung bei voller Aktivität und reduziert die Kosten der Standardbehandlung. Zu den Indikationen für die Therapie in der Überdruckkammer gehören alle Arten von Krankheiten, sowohl akute als auch chronische. Dieses Verfahren verbessert die Ernährung und die Regeneration der Zellen und des Gewebes im Körper und hat eine hemmende Wirkung auf den Alterungsprozess. Aufgrund der möglichen Nebenwirkungen einer solchen Therapie sollten die Patienten jedoch nach einer gründlichen Analyse ihres klinischen Zustands und ihrer Komorbiditäten für die Anwendung qualifiziert werden.

Schlüsselwörter: Sauerstofftherapie, Überdruckkammer, COVID-19.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 73 – 84

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0022

Pages: 12, figures: 0, tables: 0

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.06.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.09.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



La oxigenoterapia hiperbárica es un método que ayuda en el tratamiento de numerosas enfermedades. Los tratamientos de oxigenoterapia son realizados en cámaras hiperbáricas, en las que los enfermos respiran oxígeno 100% puro a una presión superior a la atmosférica. Esto permite aumentar varias veces la cantidad de oxígeno suministrado a todas las células del organismo. La combinación de un tratamiento clásico con la oxigenoterapia hiperbárica facilita al enfermo una recuperación más rápida de la salud y la actividad completa y también reduce los costes de un tratamiento tradicional. Están indicados para la terapia en una cámara hiperbárica todos los tipos de enfermedades, tanto las agudas como las crónicas. El método ayuda a la nutrición y la regeneración de las células y los tejidos del organismo, además de ralentizar el proceso de envejecimiento. Sin embargo, debido a los posibles efectos secundarios de esta terapia, los pacientes deberían ser clasificados para su empleo tras realizar un análisis en profundidad de su estado clínico y de las enfermedades concomitantes.

Palabras clave: oxigenoterapia, cámara hiperbárica, COVID-19.

WSTĘP

Hiperbaryczna terapia tlenowa (HBO) jest zabiegiem leczniczym polegającym na stosowaniu do oddychania przez pacjenta czystego tlenu o podwyższonym ciśnieniu. Odbywa się to w odpowiednio skonstruowanych do tego celu komorach hiperbarycznych. Ciśnienie wywierane na pacjenta poddanego terapii hiperbarycznej wyrażane jest sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia panującego w komorze (atmosphere absolute - ATA). W dostępnych obecnie komorach hiperbarycznych ciśnienie wynosi najczęściej ok. 2,5 ATA. [1].

Urządzenie, które stało się pierwowzorem dla współczesnych komór hiperbarycznych zwane „domicilium”, zaprojektował w 1662 r. brytyjski lekarz i fizjolog Nathaniel Henshaw. Urządzenie to umożliwiała oddychanie powietrzem o podwyższonym lub obniżonym ciśnieniu dzięki specjalnemu systemowi zaworów i miechów pompujących powietrze do hermetycznie zamkniętego stalowego pomieszczenia. Sprężone powietrze wykorzystywano do leczenia chorób układu oddechowego. Z komory takiej korzystali również ludzie zdrowi w celu zapobieganiu chorobom płuc, ułatwieniu oddychania oraz polepszeniu trawienia i ogólnego samopoczucia. W Europie komory hiperbaryczne weszły do powszechnego użycia w XIX wieku [2].

Wysokie ciśnienie pozwala wielokrotnie zwiększyć ilość tlenu dostarczonego do komórek i tkanek organizmu. Pozwala to na dostarczanie tlenu nawet do słabo ukrwionych obszarów ciała. Prawidłowe utlenowanie wpływa na usprawnianie wszystkich funkcji życiowych organizmu. Tlen w warunkach hiperbarycznych jest dostarczany do komórek organizmu nie tylko przez utlenowanie hemoglobiny, ale i w postaci rozpuszczonej w osoczu krwi. Wykazano, że w jednym litrze surowicy krwi znajdują się 3 ml rozpuszczonego fizycznie tlenu. Oddychając 100% tlenem w warunkach normobarii, wysycenie surowicy krwi tlenem wzrasta do 20 ml/l. Stosowanie 100% tlenu w warunkach hiperbarii tlenowej, prowadzi do wzrostu stężenia rozpuszczonego w surowicy tlenu do 50 ml/l [3].

Standardowy zabieg tlenoterapii prowadzony w komorze hiperbarycznej składa się z trzech 20-minutowych cykli oddychania tlenem hiperbarycznym, między którymi stosuje się pięciominutowe przerwy oddychania powietrzem. Łączny czas oddychania tlenem hiperbarycznym wynosi 60 min na ekspozycję. Zabieg obejmuje również dwa dziesięciominutowe okresy kompresji oraz dekompresji odpowiednio na początku i na końcu zabiegu, podczas których pacjenci oddychają powietrzem [1].

RODZAJE KOMÓR HIPERBARYCZNYCH

Aktualnie do prowadzenia HBO stosuje się kilka rodzajów komór [1]:

- Komory jednomiejscowe, przeznaczone są dla jednej osoby. Umożliwiają one prowadzenie zabiegu, zarówno w pozycji leżącej, jak również siedzącej. Zabieg odbywa się bez użycia maski tlenowej. Komory te występują w różnych kształtach. Są to komory cylindryczne, w których chory przebywa w pozycji leżącej oraz komory kuliste, gdzie pacjent leczony jest w pozycji siedzącej.

INTRODUCTION

Hyperbaric oxygen therapy (HBO) is a therapeutic procedure involving the use of pure oxygen at increased pressure for the patient to breathe. It takes place in specially designed hyperbaric chambers. The pressure exerted on the patient undergoing hyperbaric therapy is the sum of atmospheric pressure and the pressure in the chamber (atmosphere absolute - ATA). In currently available hyperbaric chambers, the pressure is usually around 2.5 ATA. [1].

The device, which became the prototype for modern hyperbaric chambers called "domicilium", was designed in 1662 by the British physician and physiologist Nathaniel Henshaw. This device made it possible to breathe air of increased or reduced pressure thanks to a special system of valves and bellows pumping air into a hermetically sealed steel room. Compressed air was used to treat respiratory diseases. Healthy people also used this chamber to prevent lung diseases, facilitate breathing, and improve digestion and general well-being. In Europe, hyperbaric chambers entered general use in the 19th century [2].

High pressure allows you to multiply the amount of oxygen supplied to the cells and tissues of the body. This allows oxygen to be delivered even to areas of the body that are poorly supplied with blood. Proper oxygenation improves all vital functions of the body. Under hyperbaric conditions, oxygen is supplied to the body's cells not only by hemoglobin oxygenation, but also dissolved in blood plasma. It was shown that one liter of blood serum contains 3 ml of physically dissolved oxygen. Breathing 100% oxygen in normobaric conditions, the saturation of the blood serum with oxygen increases to 20 ml / l. The use of 100% oxygen in hyperbaric oxygen conditions increases the concentration of dissolved oxygen in the serum to 50 ml / l [3].

A standard treatment of oxygen therapy conducted in a hyperbaric chamber consists of three 20-minute cycles of hyperbaric oxygen breathing, between which there are five-minute breaks in breathing air. The total time for breathing hyperbaric oxygen is 60 minutes per exposure. The procedure also includes two ten-minute periods of compression and decompression at the beginning and end of the procedure, respectively, during which patients breathe air [1].

TYPES OF HYPERBARIC CHAMBERS

Currently, several types of chambers are used to conduct HBO [1]:

- Single-seat chambers are intended for one person. They allow the treatment to be carried out, both in the supine and sitting position. The procedure takes place without the use of an oxygen mask. These chambers come in various shapes. These are cylindrical chambers in which the patient is lying down, and spherical chambers where the patient is treated in a sitting position. Multi-site chambers that enable the procedure to be performed for several patients at the same time. The procedure takes place in a sitting position. The inside of the chamber is filled with air under increased pressure. Patients inhale oxygen through the mask.

- Komory wielomiejscowe, które umożliwiają wykonanie zabiegu dla kilku pacjentów jednocześnie. Zabieg odbywa się w pozycji siedzącej. Wnętrze komory wypełnia powietrze pod zwiększonym ciśnieniem. Pacjenci wdychają tlen przez maskę.
- Worki Gamowa. Komorę zabiegową tworzy nadmuchiwany, przenośny worek, w którym utrzymuje się wysokie ciśnienie. Stosowany jest on głównie na dużych wysokościach, w leczeniu wysokościowego obrzęku mózgu i obrzęku płuc.

MECHANIZM DZIAŁANIA HIPERBARII TLENOWEJ NA ORGANIZM

Konsekwencją ekspozycji na działanie tlenu pod ciśnieniem wyższym niż atmosferyczne jest szereg przemian fizycznych, biochemicznych i fizjologicznych zachodzących w organizmie człowieka. Równoległe do wzrostu ciśnienia zmniejsza się objętość pęcherzyków gazu we krwi, skraca się czas połowicznego rozpadu karboksyhemoglobiny, dochodzi do skurczu naczyń i zmniejszenia obrzęku uszkodzonych tkanek [1,3].

Mechanizm przeciwzapalnego działania HBO wynika z hamującego wpływu takiej terapii na syntezę mediatorów stanu zapalnego, takich jak: tlenek azotu, prostaglandyna E2, TNF- α , interleukina 1 β , interleukina 12, interferon γ , a także zmniejszenia ekspresji mRNA oraz cyklooksygenazy typu 2. Oprócz hamującego wpływu na syntezę cytokin prozapalnych, następstwem leczenia HBO jest wzrost uwalniania cytokin o działaniu przeciwzapalnym, głównie interleukiny 10 [4,5].

Warto zaznaczyć, że wyższe ciśnienia tlenu pobudzają angiogenezę. Aktywacja procesów tworzenia włosowatych naczyń krwionośnych umożliwia poprawę utleniania i zaopatrzenia w składniki odżywcze szeregu komórek, tkanek i narządów wewnętrznych organizmu, a także usprawnia odprowadzanie zbędnych metabolitów komórkowych. HBO działa stymulująco na fibroblasty, które odpowiedzialne są za syntezę m.in. kolagenu i elastyny zapewniających elastyczność skóry [6].

HBO reguluje również aktywność osteoklastów, komórek mających istotny udział w procesach metabolicznych tkanki kostnej [7].

Udowodniono wpływ HBO na układ immunologiczny ustroju. Tlen stosowany pod ciśnieniem do 2,5 ATA hamuje peroksydację lipidów i stymuluje korzystnie system immunologiczny. Wyższe ciśnienia mogą dać efekt odwrotny. HBO pobudza przeciwbakteryjną funkcję granulocytów obojętnochłonnych przez wpływ na ich zdolność do fagocytozy. Zabieg ten zaburza metabolizm komórkowy bakterii zarówno Gram-dodatnich, jak również Gram-ujemnych, przez co wpływa na zmniejszenie produkcji toksyn bakteryjnych. Wpływ tlenu na bakterie jest jednak zależny od zastosowanego ciśnienia. Ciśnienie wahające się w przedziale 0,6–1,3 ATA sprzyja wzrostowi bakterii, natomiast powyżej 1,3 ATA hamuje go, zaburzając metabolizm komórek bakteryjnych. Istotnie większą skuteczność tlen wykazuje wobec bakterii beztlenowych. HBO nasila również działanie antybiotyków i sulfonamidów. Dlatego też HBO jest uznanym czynnikiem wspomagającym leczenie ciężkich zakażeń bakteryjnych i grzybiczych, w tym stanów septycznych [1].

- Gamow bags. The treatment chamber consists of an inflatable, portable bag in which high pressure is maintained. It is mainly used at high altitude to treat high altitude cerebral edema and pulmonary edema.

MECHANISM OF ACTION OF HYPERBAR OXYGEN ON THE BODY

The consequence of exposure to oxygen at higher than atmospheric pressure is a series of physical, biochemical and physiological changes taking place in the human body. Parallel to the increase in pressure, the volume of gas bubbles in the blood decreases, the carboxyhemoglobin half-life decreases, vasoconstriction occurs and the swelling of damaged tissues is reduced [1,3].

The mechanism of the anti-inflammatory effect of HBO results from the inhibitory effect of such therapy on the synthesis of inflammatory mediators, such as: nitric oxide, prostaglandin E2, TNF- α , interleukin 1 β , interleukin 12, interferon γ , as well as the reduction of mRNA expression and type 2 cyclooxygenase. influence on the synthesis of pro-inflammatory cytokines, the consequence of HBO treatment is an increase in the release of anti-inflammatory cytokines, mainly interleukin 10 [4,5].

It is worth noting that higher oxygen pressures stimulate angiogenesis. Activation of the processes of formation of capillary blood vessels enables the improvement of oxygenation and the supply of nutrients to a number of cells, tissues and internal organs of the body, as well as facilitates the removal of unnecessary cellular metabolites. HBO stimulates fibroblasts, which are responsible for the synthesis of, among others collagen and elastin ensure skin elasticity [6].

HBO also regulates the activity of osteoclasts, cells significantly involved in the metabolic processes of bone tissue [7].

The influence of HBO on the immune system of the organism has been proven. When applied at pressures of up to 2.5 ATA, oxygen inhibits lipid peroxidation and beneficially stimulates the immune system. Higher pressures may have the opposite effect. HBO stimulates the antimicrobial function of neutrophils by influencing their ability to phagocytose. This treatment disrupts the cellular metabolism of both Gram-positive and Gram-negative bacteria, thus reducing the production of bacterial toxins. The effect of oxygen on the bacteria, however, depends on the pressure used. The pressure ranging in the range of 0.6–1.3 ATA promotes the growth of bacteria, while above 1.3 ATA inhibits it, disrupting the metabolism of bacterial cells. Oxygen is significantly more effective against anaerobic bacteria. HBO also enhances the effects of antibiotics and sulfonamides. Therefore, HBO is a recognized factor supporting the treatment of severe bacterial and fungal infections, including septic conditions [1].

It has also been confirmed that HBO increases the number of stem cells circulating in the body, which move to damaged cells and tissues, contributing to their revitalization [8].

The multidirectional influence of HBO causes a continuous expansion of indications for its use.

The aim of the study was to summarize the possible applications of hyperbaric oxygen therapy.

Potwierdzono również, że HBO zwiększa liczbę krążących w organizmie komórek macierzystych, które przemieszczają się do uszkodzonych komórek i tkanek przyczyniając się do ich rewitalizacji [8].

Wielokierunkowe oddziaływanie HBO powoduje ciągłe rozszerzanie wskazań do jej zastosowania.

WSKAZANIA DO STOSOWANIA HBO

Wskazaniem do terapii w komorze hiperbarycznej są zarówno schorzenia o przebiegu ostrym, jak również przewlekłym. Wśród chorób o przebiegu ostrym, będących wskazaniem do HBO i jednocześnie objętych refundacją NFZ należy wymienić: chorobę dekompresyjną, zatrucia tlenkiem węgla, zator gazowy powstały np. podczas operacji lub cewnikowania, urazy mięśniowo-szkieletowe, urazy wielonarządowe, niedokrwienie tkanek miękkich o charakterze ostrym, martwicze zakażenie tkanek miękkich, oparzenia II i III stopnia, głuchota, która jest wynikiem urazu akustycznego lub ma charakter idiopatyczny. Schorzenia przewlekłe, kwalifikowane do terapii hiperbarycznej to: stopa cukrzycowa, powikłania po amputacjach (martwice, stany zapalne), martwica kości lub zagrożenia martwicą tkanek, uszkodzenia popromienne, zapalenia ucha zewnętrznego, zakażenia tkanek po urazach, odleżyny, ropnie, trudno gojące się rany [1,9].

Skuteczność zabiegów w komorach hiperbarycznych potwierdzono również w leczeniu przewlekłych chorób skóry, w tym również atopowego zapalenia skóry o ciężkim przebiegu słabo reagującego na standardowe metody terapii [10].

HBO wykorzystuje się także w leczeniu niedokrwistości spowodowanej utratą krwi. Metoda ta odgrywa istotną rolę w leczeniu schorzeń układu krążenia, nadciśnienia tętniczego krwi, miażdżycy, udaru mózgu [11]. HBO przez swój wzmacniający wpływ na układ odpornościowy jest pomocna w leczeniu ciężkich zakażeń, w tym stanów septycznych [3].

Udowodniono również, że metoda ta wpływa hamująco na procesy starzenia, wspomaga odżywienie i regenerację komórek. Dlatego też hiperbaria tlenowa znajduje szerokie zastosowanie w medycynie estetycznej i kosmetologii [12].

Badania nad skutecznością HBO u pacjentów z chorobą Alzheimera potwierdziły wolniejszy postęp choroby, a nawet poprawę funkcji poznawczych, co istotnie poprawiło jakość życia chorych i wydłużyło okres ich samodzielności. Wynika to głównie z poprawy metabolizmu w tkance nerwowej i poprawy mikrokrążenia mózgowego [13].

HBO wykorzystywana jest również w pediatrii. Udowodniono pozytywny wpływ tej metody terapii u dzieci autystycznych oraz u dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym. Najnowsze badania wykazują, że u wielu dzieci z autyzmem występuje zjawisko hipoperfuzji w płatach skroniowych i czołowych ośrodkowego układu nerwowego. Poprawa przepływu krwi, wzrost utlenowania komórek nerwowych wpływa pozytywnie na koncentrację, poprawia szybkość kojarzenia i reakcji, poprawia nastrój, zmniejsza nasilenie stanów rozdrażnienia i lęku. Terapia HBO poprawia również napięcie mięśniowe, przez co pozytywnie wpływa na motorykę ciała [14,15].

INDICATORS FOR USE HBO

The indications for therapy in a hyperbaric chamber are both acute and chronic diseases. Among acute diseases that are an indication for HBO and at the same time covered by NHF reimbursement, the following should be mentioned: decompression sickness, carbon monoxide poisoning, gas embolism, e.g. during surgery or catheterization, musculoskeletal injuries, multi-organ injuries, acute soft tissue ischemia, necrotic infection of soft tissues, 2nd and 3rd degree burns, deafness, which is the result of an acoustic trauma or is idiopathic. Chronic diseases qualified for hyperbaric therapy are: diabetic foot, complications after amputations (necroses, inflammations), bone necrosis or the risk of tissue necrosis, radiation damage, otitis externa, tissue infections after injuries, bedsores, abscesses, difficult-to-heal wounds [1,9].

The effectiveness of treatments in hyperbaric chambers has also been confirmed in the treatment of chronic skin diseases, including severe atopic dermatitis, poorly responding to standard methods of therapy [10].

HBO is also used to treat anemia caused by blood loss. This method plays an important role in the treatment of cardiovascular diseases, arterial hypertension, atherosclerosis, and stroke [11]. HBO, through its strengthening effect on the immune system, is helpful in the treatment of severe infections, including septic conditions [3].

It has also been proven that this method slows down the aging process, supports the nourishment and regeneration of cells. Therefore, hyperbaric oxygen is widely used in aesthetic medicine and cosmetology [12].

Studies on the effectiveness of HBO in patients with Alzheimer's disease confirmed slower progression of the disease and even improved cognitive functions, which significantly improved the quality of life of patients and extended their period of independence. This is mainly due to the improvement of metabolism in the nervous tissue and the improvement of cerebral microcirculation [13].

HBO is also used in pediatrics. The positive effect of this method of therapy has been proven in autistic children and in children with cerebral palsy. Recent studies show that many children with autism suffer from hypoperfusion in the temporal and frontal lobes of the central nervous system. Improving blood flow, increasing the oxygenation of nerve cells has a positive effect on concentration, improves the speed of association and reaction, improves mood, reduces the severity of irritability and anxiety. HBO therapy also improves muscle tone, which has a positive effect on the body's motor skills [14,15].

CONTRADICTIONS TO USE HBO

An absolute contraindication to HBO is untreated pneumothorax. Before the planned start of treatment in the hyperbaric chamber of a patient with pneumothorax, it is necessary to decompress it by installing a drainage. There is a risk of developing pneumothorax during decompression, which is a state of immediate threat to life [3,16].

Another contraindication to HBO is treatment with cytostatics such as: Doxorubicin, Bleomycin, Cisplatin. Doxorubicin is an anthracycline antibiotic with anti-tumor activity. The drug builds into the DNA

PRZECIWWSKAZANIA DO STOSOWANIA HBO

Bezwzględny przeciwwskazaniem do HBO jest nieleczona odma opłucnowa. Przed planowanym rozpoczęciem leczenia w komorze hiperbarycznej pacjenta z odmą, konieczne jest jej odbarczenie przez założenie drenażu. Istnieje niebezpieczeństwo narastania odmy w trakcie dekompresji, co jest stanem bezpośredniego zagrożenia życia [3,16].

Przeciwwskazaniem do HBO jest również leczenie cytostatykami takimi jak: Doksorubicyna, Bleomycyna, Cisplatyna. Doksorubicyna jest antybiotykiem z grupy antracyklin o działaniu przeciwnowotworowym. Lek wbudowuje się w strukturę DNA komórek nowotworowych i powoduje jego rozerwanie oraz fragmentację. Doksorubicyna w połączeniu z terapią hiperbaryczną uszkadza mięsień sercowy. Przed rozpoczęciem HBO należy odstawić ten lek na ok. 2-3 dni przed planowanym rozpoczęciem zabiegów [17]. Bleomycyna jest polipeptydowym antybiotykiem przeciwnowotworowym, który hamuje syntezę materiału genetycznego oraz podział i wzrost komórek, prowadząc do zapoczątkowania procesów apoptozy i starzenia się komórek nowotworowych. Lek ten nasila toksyczne działanie tlenu na płuca. Znane są doniesienia o rozwoju śródmiąższowego zapalenia płuc oraz powstaniu ostrej niewydolności oddechowej u pacjentów leczonych Bleomycyną, którym podczas zabiegów operacyjnych podano tlen w stężeniach 32-45%. HBO jest bezwzględnie przeciwwskazana nawet, gdy pacjent zaprzestał przyjmowanie tego leku [18].

Cisplatyna jest związkiem nieorganicznym zawierającym platynę. Kompleksy platyny reagują z DNA, tworząc wiązania krzyżowe zarówno w obrębie cząsteczki, jak również między cząsteczkami DNA. Powstanie nieprawidłowych wiązań zaburza strukturę DNA, przyczynia się do powstawania pęknięć w nici DNA, zakłóca syntezę DNA i RNA oraz uniemożliwia podział komórki. HBO w połączeniu ze stosowaniem Cisplatyny, nasila działanie cytotoksyczne tego leku. Zakłóca syntezę kolagenu, funkcjonowanie fibroblastów, co istotnie utrudnia gojenie się ran. Udowodniono również nasilone działanie ototoksyczne cisplatyny u zwierząt doświadczalnych poddanych terapii w komorze hiperbarycznej [19].

Bezwzględne przeciwwskazania do HBO obejmują również stosowanie leków takich jak: Disulfiram oraz Mafenid. Disulfiram stosuje się w leczeniu uzależnienia od alkoholu. Jest to inhibitor dehydrogenazy aldehydowej, który blokuje produkcję dysmutazy nadtlenkowej, a w konsekwencji osłabia wydolność układów antyoksydacyjnych ustroju. Mafenid jest środkiem antybakteryjnym, inhibitorem anhidrazy węglanowej. Należy do grupy sulfonamidów. Lek ten stosowany jest w leczeniu miejscowym chorób skóry, oparzeń i powikłanych infekcyjnie ran oparzeniowych. Powoduje obwodową wazodilatację, co w połączeniu z centralną wazokonstrykcją będącą efektem HBO, pogarsza gojenie się ran [1].

Do przeciwwskazań względnych stosowania HBO należy rozedma płuc. Retencja dwutlenku węgla u pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc stanowi stymulację do oddychania. Podczas stosowania HBO chorzy obciążeni są ryzykiem bezdechu. Leczenie tych chorych w komorze hiperbarycznej powinno być

strukturę cancer cells and causes its disruption and fragmentation. Doxorubicin in combination with hyperbaric therapy damages the heart muscle. Before starting HBO, the drug should be discontinued about 2-3 days before the planned start of the procedures [17]. Bleomycin is a polypeptide anti-cancer antibiotic that inhibits the synthesis of genetic material and the division and growth of cells, leading to the initiation of the processes of apoptosis and aging of cancer cells. This drug increases the toxic effects of oxygen on the lungs. There are reports of the development of interstitial pneumonia and the development of acute respiratory failure in Bleomycin-treated patients who received 32-45% oxygen during surgeries. HBO is absolutely contraindicated even if the patient has stopped taking this drug [18].

Cisplatin is an inorganic compound containing platinum. Platinum complexes react with DNA, creating cross-links both within the molecule and between DNA molecules. The formation of abnormal bonds disrupts the structure of DNA, contributes to the formation of breaks in the DNA strand, disrupts the synthesis of DNA and RNA, and prevents cell division. HBO in combination with the use of Cisplatin increases the cytotoxic effect of this drug. It interferes with collagen synthesis and the functioning of fibroblasts, which significantly impairs wound healing. The increased ototoxic effects of cisplatin have also been demonstrated in experimental animals treated in a hyperbaric chamber [19].

Absolute contraindications to HBO also include the use of drugs such as Disulfiram and Mafenid. Disulfiram is used to treat alcohol dependence. It is an aldehyde dehydrogenase inhibitor that blocks the production of superoxide dismutase, and consequently weakens the efficiency of the antioxidant systems of the organism. Mafenide is an antibacterial agent, an inhibitor of carbonic anhydrase. It belongs to the group of sulfonamides. This drug is used in the topical treatment of skin diseases, burns and burn wounds complicated by infections. It causes peripheral vasodilation, which, in combination with the central vasoconstriction resulting from HBO, impairs wound healing [1].

Relative contraindications to the use of HBO include emphysema. Carbon dioxide retention in patients with chronic obstructive pulmonary disease stimulates breathing. Patients are at risk of apnea while taking HBO. Treatment of these patients in a hyperbaric chamber should be preceded by intubation and mechanical ventilation. In patients with emphysema, the use of HBO is associated with the risk of rupture of the emphysema bladder during decompression. Relative contraindications to HBO also include patients with a pacemaker. The use of very high pressure can deform some parts of the starter. It has been proved, however, that standard oxygen pressures in hyperbaric chambers did not lead to disturbances in the functioning of these devices [3].

Acute pulmonary viral infections may worsen during HBO. This may result from overlapping with an already existing infection, irritation of the lungs with oxygen. For other infections, e.g. chronic sinusitis, it is proposed to interrupt or delay treatment in the chamber until improvement occurs, except in patients requiring urgent HBO. Increased body temperature is also a relative contraindication to HBO. Fever predisposes to seizures.

Before starting HBO, try to lower your high body temperature. For urgent indications, in addition to antipyretics, the patient should receive prophylactic anticonvulsants. Epilepsy, as well as the lowered seizure

poprzedzone intubacją oraz wentylacją mechaniczną.

U chorych z rozedmą stosowanie HBO obciążone jest ryzykiem pęknięcia pęcherza rozdmowego w trakcie dekompresji. Względne przeciwwskazania do HBO obejmują również pacjentów z rozrusznikiem serca. Stosowanie bardzo wysokiego ciśnienia może spowodować deformację niektórych elementów rozrusznika. Udowodniono jednak, że standardowo stosowane ciśnienia tlenu w komorach hiperbarycznych nie prowadziły do zaburzeń funkcjonowania tych urządzeń [3].

Ostre infekcje wirusowe dotyczące płuc, mogą podczas HBO ulec zaostrzeniu. Wynikać to może z nałożenia się na już istniejącą infekcję, podrażnienia płuc tlenem. Przy innych infekcjach, np. przewlekłym zapaleniu zatok, proponuje się przerwanie lub odroczenie leczenia w komorze do czasu uzyskania poprawy, z wyłączeniem pacjentów wymagających HBO ze wskazań pilnych. Względny przeciwwskazaniem do HBO jest również podwyższona temperatura ciała. Gorączka predysponuje do wystąpienia drgawek. Przed rozpoczęciem HBO należy dążyć do obniżenia wysokiej temperatury ciała. Z nagłych wskazań, poza lekami przeciwgorączkowymi, pacjent powinien profilaktycznie otrzymać środki przeciwdrgawkowe. Padaczka, jak również obniżony próg drgawkowy, nie stanowią bezwzględnego przeciwwskazania do HBO. Pacjenci powinni jednak odpowiednio wcześniej otrzymać leki przeciwdrgawkowe, zapewniające ich poziom terapeutyczny w surowicy krwi przed rozpoczęciem leczenia [1,20].

Wśród względnych przeciwwskazań do HBO wymienia się również wrodzoną sferocytozę. W przebiegu tego schorzenia HBO prowadzić może do nasilonej hemolizy. Wymagający leczenia w komorze hiperbarycznej pacjenci ze sferocytozą nie powinni być dyskwalifikowani. Prowadzący terapię muszą być jednak być przygotowani na możliwość wystąpienia powikłań. Względny przeciwwskazaniem do HBO jest także przebyte zapalenie nerwu wzrokowego. U chorych tych leczenie powinno być przerwane w przypadku jakichkolwiek objawów wskazujących na zagrożenie zmianami w narządzie wzroku [3].

Zgodnie z aktualnymi doniesieniami, współistnienie choroby nowotworowej nie stanowi przeciwwskazania do HBO. W onkologii HBO stosowana jest w celu zwiększenia wrażliwości guza na promieniowanie. Nie potwierdzono danych dotyczących wpływu HBO na stymulację wzrostu nowotworów i postawiania przerzutów. Wielu pacjentów z chorobą nowotworową poddanych radioterapii wymaga HBO ze względu na uszkodzenia i martwicę tkanek [21].

TOKSYCZNOŚĆ TLENU I POWIKŁANIA HIPERBARYCZNEJ TERAPII TLENEWEJ

W organizmie człowieka tlen cząsteczkowy poddawany jest wielu przemianom, w wyniku których powstają reaktywne formy tlenu. Według niektórych autorów u zdrowego człowieka dochodzi do przekształcenia od 3 do 10% tlenu cząsteczkowego w jego reaktywne formy [22,23]. Sprawnie działające mechanizmy antyoksydacyjne utrzymują je na stałym, bezpiecznym poziomie. Wysokie ich stężenie prowadzi natomiast do rozwoju szeregu patologii będących konsekwencją stresu oksydacyjnego. Reaktywne formy tlenu uszkadzają cząsteczki białek, kwasów

threshold, are not an absolute contraindication to HBO.

However, patients should receive anticonvulsants in advance, ensuring their therapeutic level in blood serum before starting treatment [1,20].

Congenital spherocytosis is also mentioned among the relative contraindications to HBO. In the course of this disease, HBO may lead to increased haemolysis. Patients with spherocytosis who require treatment in a hyperbaric chamber should not be disqualified. However, the therapists must be prepared for the possibility of complications. A relative contraindication to HBO is also a history of optic neuritis. In these patients, treatment should be discontinued in the event of any symptoms suggesting a threat of changes in the organ of vision [3].

According to current reports, the coexistence of neoplastic disease is not a contraindication to HBO. In oncology, HBO is used to increase the tumor's sensitivity to radiation. Data on the effect of HBO on the stimulation of tumor growth and metastasis has not been confirmed. Many cancer patients undergoing radiotherapy require HBO due to tissue damage and necrosis [21].

OXYGEN TOXICITY AND COMPLICATIONS OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY

In the human body, molecular oxygen undergoes many changes, resulting in the formation of reactive oxygen species. According to some authors, a healthy person converts from 3 to 10% of molecular oxygen into its reactive forms [22,23]. Efficiently operating antioxidant mechanisms keep them at a constant, safe level. However, their high concentration leads to the development of a number of pathologies resulting from oxidative stress. Reactive oxygen species damage protein and nucleic acid molecules, cause lipid oxidation, damage cell membranes, and take part in the initiation of apoptosis. Their influence on the development of cardiovascular diseases and neurodegenerative diseases has been proven [3].

Long-term stay in an environment with increased oxygen content and under increased pressure leads to an increase in oxidative stress. In people exposed to a hyperbaric environment, the antioxidant defense is weaker compared to people who are constantly in normobaric conditions [23,24,25].

The cells and tissues of the body are protected against the harmful effects of reactive oxygen compounds by, among others, proteins such as: transferrin, ferritin, lactoferrin, and haemosiderin, which bind transition metals and inhibit the production of toxic oxygen compounds. Antioxidant compounds (vitamin E, ascorbic acid, beta-carotene), enzymes (superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase) and regulatory factors such as nitric oxide, adenosine, and some cytokines also have a protective effect [22,26,27].

The body's response to oxidative stress is also the synthesis of heat shock proteins (HSPs), which play a key role in maintaining cellular homeostasis. These proteins are called "chaperones". They protect other proteins from aggregation and are involved in taking the correct structure. HBO has been proven to increase the expression of these proteins in the lung tissue and in the cells of the spinal cord [18,28].

In addition to the antioxidant mechanisms, a number of external factors affect the oxygen tolerance of the body. Factors such as carbon dioxide, thyroid

nukleinowych, powodują oksydację lipidów uszkodzenie błon komórkowych, biorą również udział w inicjowaniu procesów apoptozy. Udowodniono ich wpływ na rozwój chorób układu sercowo-naczyniowego, chorób neurodegeneracyjnych [3].

Długotrwałe przebywanie w środowisku o zwiększonej zawartości tlenu i pod zwiększonym ciśnieniem prowadzi do nasilenia stresu oksydacyjnego. U osób narażonych na działanie środowiska hiperbarycznego obrona antyoksydacyjna jest osłabiona w porównaniu do osób stale przebywających w warunkach normobarii [23,24,25].

Komórki i tkanki ustroju chronione są przed szkodliwym działaniem reaktywnych związków tlenu między innymi za pomocą białek takich jak: transferyna, ferrytyna, laktoferyna, hemosyderyna, które wiążą metale przejściowe i hamują produkcję toksycznych związków tlenu. Działanie ochronne mają również związki będące antagonistami wolnych rodników tlenowych (witamina E, kwas askorbinowy, beta-karoten), enzymy (dysmutaza ponadtlenkowa, katalaza, peroksydaza glutationu) oraz czynniki regulacyjne, takie jak tlenek azotu, adenozylna, i niektóre cytokiny [22,26,27].

Odpowiedzią na stres oksydacyjny organizmu jest również synteza białek szoku cieplnego (ang. heat shock proteins – HSPs), które odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu homeostazy komórkowej. Białka te nazywane są „białkami opiekuńczymi”. Chronią one inne białka przed agregacją i biorą udział w przyjmowaniu przez nie właściwej struktury. Udowodniono wpływ HBO na wzrost ekspresji tych białek w tkance płucnej oraz w komórkach rdzenia kręgowego [18,28].

Poza mechanizmami antyoksydacyjnymi, na tolerancję tlenu przez organizm, wpływa szereg czynników zewnętrznych. Zmniejszają tolerancję tlenu czynniki takie jak: dwutlenek węgla, hormony tarczycy, insulina, adrenalina, noradrenalina, hipertermia, niedobór witaminy E, steroidy [22,24,27].

Czynniki zwiększające tolerancję tlenu to: hipotermia, glutation, magnez, selen, beta-blokery, chlorpromazyna [3,22,25].

Przy zatruciu tlenowym jako pierwsze pojawiają się objawy ze strony układu oddechowego. Wczesnymi objawami zatrucia tlenem jest podrażnienie krtani i tchawicy, obrzęk błony śluzowej nosa, ucisk i ból w klatce piersiowej. Objawy te mogą pojawić się po 24 godzinach oddychania 100-procentowym tlenem w warunkach normobarycznych lub po 6 godzinach oddychania 100-procentowym tlenem pod ciśnieniem 2 ATA. Dłuższe ekspozycje prowadzą do uszkodzenia nabłonka pęcherzyków płucnych i śródbłonna naczyń włosowatych, a w efekcie do obrzęku płuc i niedodmy z następowym niedotlenieniem. Pogarszanie się stanu klinicznego pacjenta wynika ze zmniejszaniem pojemności życiowej płuc. Wczesne objawy toksycznego działania tlenu na płuca są odwracalne. Podstawą profilaktyki toksyczności płucnej tlenu jest jego podawanie sposobem przerywanym. Dlatego też stosuje się podawanie tlenu w trzech 20-minutowych sesjach przedzielonych 5-minutowymi przerwami oddychania sprężonym powietrzem. Dla ujednoczenia oceny narażenia organizmu na działanie tlenu wprowadzono jednostki dawki toksycznej dla płuc UPDT (unit pulmonary toxicity dose). 1 UPDT = oddychanie 100% tlenem przez 1 min na poziomie morza.

Do oceny ilościowej zastosowanej dawki tlenu służą opracowane w tym celu tabele. Dawka dobową nie

hormones, insulin, adrenaline, noradrenaline, hyperthermia, vitamin E deficiency, and steroids reduce oxygen tolerance [22,24,27].

Factors increasing oxygen tolerance include: hypothermia, glutathione, magnesium, selenium, beta-blockers, and chlorpromazine [3,22,25].

Respiratory symptoms are the first to appear in oxygen poisoning. Early symptoms of oxygen poisoning are irritation of the larynx and trachea, nasal swelling, chest tightness and pain. These symptoms may appear. Respiratory symptoms are the first to appear in oxygen poisoning. Early symptoms of oxygen poisoning are irritation of the larynx and trachea, nasal swelling, chest tightness and pain. These symptoms may appear after 24 hours of breathing with 100% oxygen under normobaric conditions or after 6 hours of breathing with 100% oxygen at a pressure of 2 ATA. Longer exposures damage the alveolar epithelium and the capillary endothelium, resulting in pulmonary edema and atelectasis followed by hypoxia. The deterioration of the patient's clinical condition is due to the reduction of the vital capacity of the lungs. The early symptoms of oxygen toxicity to the lungs are reversible. Intermittent oxygen administration is the cornerstone of pulmonary toxicity prophylaxis. Therefore, oxygen is administered in three 20-minute sessions separated by 5-minute breaks for breathing compressed air. To standardize the assessment of the exposure of the organism to oxygen, the unit pulmonary toxicity dose UPDT has been introduced. 1 UPDT = breathing 100% oxygen for 1 min at sea level. Tables developed for this purpose are used to quantify the amount of oxygen used. The daily dose should not exceed 1440 UPDT. Respiratory symptoms appear first when applying pressures up to 2.5 ATA, while cerebral symptoms appear when applying higher pressures [3].

The toxic effect of oxygen on the central nervous system can be revealed after a short time of breathing 100% oxygen under increased pressure. The neurotoxic effects of oxygen may be evidenced by symptoms such as nausea, dizziness, hiccups, trembling of the eyelid and facial muscles, visual and hearing disorders, hallucinations, difficulties in breathing, unjustified fatigue and anxiety. In severe poisoning, there is a loss of consciousness and tonic-clonic convulsions. The most characteristic symptoms are seizures of generalized seizures of the "grand mal" type [3,20].

Neurological complications in the course of HBO occur relatively rarely in patients while maintaining the recommended level of pressure and duration of the procedure. In the past, they have been reported with a frequency of 1 in 10,000 treatments. In recent years, however, their frequency has increased and is at the level of 1 in 2000–3000 procedures. Many authors believe that this is associated with an increase in the number of comorbidities in patients undergoing HBO procedures as a risk factor, as well as with changes in therapeutic protocols for hyperbaric oxygen therapy. The identified risk factors for the occurrence of neurological complications include the use of higher than recommended pressure, CO₂ retention, radionecrosis of the brain tumor, hypoglycemia and hyperthyroidism [29].

HBO complications may result not only from the toxic effects of oxygen, but also may be a consequence of a barotrauma. Such an injury is the result of the influence of the application of increased pressure on the gas spaces in the human body, the volume of which cannot be changed quickly, and thus the pressure cannot be

powinna przekraczać 1440 UPDT. Objawy dotyczące układu oddechowego pojawiają się jako pierwsze podczas stosowania ciśnienia do 2,5 ATA, natomiast objawy mózgowie podczas stosowania wyższego ciśnienia [3].

Toksyczny wpływ tlenu na ośrodkowy układ nerwowy może ujawnić się już po krótkim czasie oddychania 100-procentowym tlenem w warunkach podwyższonego ciśnienia. O neurotoksycznym działaniu tlenu świadczyć mogą objawy takie jak: nudności, zawroty głowy, czkawka, drżenie mięśni powiek i twarzy, zaburzenia widzenia i słuchu, halucynacje, uczucia utrudnionego oddychania, nieuzasadnionego zmęczenia i lęku. W silnym zatruciu dochodzi do utraty przytomności i drgawek toniczno-klonicznych. Najbardziej charakterystyczne objawy to napady uogólnionych drgawek typu „grand mal” [3,20].

Powikłania neurologiczne w przebiegu HBO, przy zachowaniu zalecanej wysokości ciśnienia i czasu zabiegu, występują u pacjentów stosunkowo rzadko. W przeszłości odnotowywano je z częstością 1 na 10 000 zabiegów. W ostatnich latach częstotliwość ich jednak wzrosła i kształtuje się na poziomie 1 na 2000–3000 zabiegów. Wielu autorów uważa, że wiąże się to ze wzrostem ilości chorób współwystępujących u pacjentów poddawanych zabiegom HBO stanowiących czynnik ryzyka, a także ze zmianami w protokołach terapeutycznych hiperbarycznego leczenia tlenem. Do zidentyfikowanych czynników ryzyka wystąpienia powikłań neurologicznych należy zastosowanie ciśnienia wyższego niż zalecane, zatrzymywanie CO₂, radionekroza guza mózgu, hipoglikemia i nadczynność tarczycy [29].

Powikłania HBO wynikać mogą nie tylko z toksycznego działania tlenu, ale również mogą być konsekwencją urazu ciśnieniowego. Uraz taki jest wynikiem wpływu stosowania podwyższonego ciśnienia na przestrzenie gazowe w organizmie człowieka, których objętość nie może zostać szybko zmieniona, a tym samym nie może dojść do wyrównania ciśnień. Uraz ciśnieniowy (barotrauma) może dotyczyć ucha środkowego, zatok przynosowych oraz płuc. Około 15–20% chorych poddawanych HBO odczuwa czasami ból ucha lub ma uczucie zablokowania trąbki słuchowej. Uraz ciśnieniowy zatok przynosowych, głównie zatok czołowych wiąże się na ogół ze współistniejącą ostrą infekcją górnych dróg oddechowych. Jest to jedno z przeciwwskazań względnych do HBO. Uraz ciśnieniowy płuc jest bardzo rzadkim powikłaniem, który może przebiegać w postaci odmy opłucnowej lub nawet rozerwania tkanki płucnej [30].

Do powikłań ocznych HBO należą: krótkowzroczność i zaćma. Krótkowzroczność jest najczęściej stanem przejściowym zgłaszanym przez około 20% pacjentów poddanych HBO. Wzrok powraca do normy przez okres około trzech miesięcy od chwili ukończenia HBO. Przyczyna okresowego pogorszenia widzenia nie jest w pełni poznana. Uważa się, że może to być spowodowane zmianami w krzywiznie rogówki wywołanymi wahaniami ciśnień w trakcie kompresji i dekompresji lub zmianami metabolicznymi rogówki i zmianami w refrakcji soczewki. Rzadkim powikłaniem jest zaćma, która może wystąpić głównie u chorych w starszym wieku oraz u pacjentów z cukrzycą [3].

Istnieją doniesienia wskazujące na możliwość wystąpienia hipoglikemii u pacjentów z cukrzycą poddanych terapii w komorze hiperbarycznej. U pacjentów tych ciężką hipoglikemię obserwuje się jednak bardzo rzadko, częściej w cukrzycy typu 1. Hipoglikemia wynika z faktu zwiększonego uwalniania jest również ilość pozycji piśmiennictwa obejmującego to

equalized. Barotrauma (barotrauma) may affect the middle ear, paranasal sinuses and lungs. About 15-20% of patients undergoing HBO sometimes experience ear pain or a feeling of blockage in the Eustachian tube. Barotrauma to the paranasal sinuses, mainly the frontal sinuses, is usually associated with a coexisting acute infection of the upper respiratory tract. This is one of the relative contraindications to HBO. Pulmonary barotrauma is a very rare complication that may develop in the form of a pneumothorax or even rupture of lung tissue [30].

The eye complications of HBO include myopia and cataracts. Myopia is the most common temporary condition reported by approximately 20% of patients undergoing HBO. Vision returns to normal within approximately three months after completing HBO. The cause of the temporary deterioration in vision is not fully understood. It is believed that this may be due to changes in the curvature of the cornea due to pressure fluctuations during compression and decompression, or to metabolic changes in the cornea and changes in lens refraction. Cataract is a rare complication, which may occur mainly in elderly patients and in patients with diabetes [3].

There are reports indicating the possibility of hypoglycaemia in diabetic patients treated in a hyperbaric chamber.

However, in these patients severe hypoglycaemia is very rarely observed, more often in type 1 diabetes. Hypoglycaemia results from increased insulin release in diabetics and faster glucose metabolism in the brain [31]. However, most authors suggest that HBO does not cause a clinically significant decrease in glycaemia [32].

Claustrophobia can also be a problem that hinders running HBO. Studies have shown that it occurs in one in 50 patients undergoing HBO. This applies to patients treated in multi-person as well as single-person chambers. In the currently used hyperbaric chambers, it is possible to maintain contact with the patient, which makes it possible to control this problem. In cases where it is necessary to continue therapy, sedatives administered to patients before the procedure are effective in preventing such conditions [16].

USE OF HBO IN PATIENTS WITH COVID-19 DIAGNOSIS

Recently, the importance of oxygen therapy in a hyperbaric chamber has been emphasized in patients diagnosed with COVID-19, as well as in patients convalescing after SARS-CoV-2 infection. Most infected patients develop mild or asymptomatic disease. However, some of them show symptoms of severe respiratory failure requiring hospitalization in the intensive care unit. Supportive measures such as nasal cannula oxygen therapy, oxygen mask, non-invasive ventilation, mechanical ventilation, and even extreme measures such as extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) do not improve oxygenation in some patients. In such patients, attempts are made to use HBO. This therapy is effective in increasing tissue oxygenation by increasing the amount of dissolved oxygen in the plasma. HBO also reduces inflammation, reducing the adverse effects of a cytokine storm in COVID-19 patients.

HBO effectively minimizes the side effects of hypoxia resulting from pneumonia in the course of COVID-19, increases the body's efficiency and accelerates

insuliny u diabetyków oraz szybszego metabolizmu glukozy w mózgu [31]. Większość autorów sugeruje jednak, że HBO nie powoduje istotnego klinicznie spadku glikemii [32].

Problemem utrudniającym prowadzenie HBO może być również klaustrofobia. Badania wykazały, że występuje ona u jednego na 50 chorych poddawanych HBO. Dotyczy to chorych leczonych w wieloosobowych, jak również w jednoosobowych komorach. W używanych obecnie komorach hiperbarycznych istnieje możliwość zachowania kontaktu z pacjentem, co umożliwia zapanowanie nad tym problemem. W przypadkach konieczności kontynuowania terapii skuteczne w zapobieganiu takim stanom są środki sedatywne, podawane pacjentom przed zabiegiem [16].

STOSOWANIE HBO U PACJENTÓW Z ROZPOZNANIEM COVID-19

Ostatnio podkreśla się znaczenie tlenoterapii w komorze hiperbarycznej, stosowanej u pacjentów z rozpoznaniem COVID-19, a także u pacjentów podczas rekonwalescencji po przebytych zakażeniu SARS-CoV-2. U większości zakażonych pacjentów przebieg choroby jest łagodny lub bezobjawowy. Jednak część z nich wykazuje objawy ciężkiej niewydolności oddechowej wymagającej hospitalizacji w oddziale intensywnej terapii. Środki wspomagające leczenie, takie jak: tlenoterapia kaniulą nosową, maska tlenowa, wentylacja nieinwazyjna, wentylacja mechaniczna, a nawet środki ekstremalne, takie jak pozaustrojowe natlenianie membranowe (ECMO) u niektórych pacjentów nie poprawiają utlenowania. U takich chorych podejmowane są próby zastosowania HBO. Terapia ta skutecznie zwiększa natlenowanie tkanek przez zwiększenie ilości rozpuszczonego tlenu w osoczu. HBO łagodzi również stan zapalny, zmniejszając niekorzystne skutki burzy cytokinowej u pacjentów z COVID-19.

HBO skutecznie minimalizuje skutki uboczne niedotlenienia będącego konsekwencją przebytego w przebiegu COVID-19 zapalenia płuc, zwiększa wydolność organizmu i przyspiesza procesy regeneracyjne. Terapia ta istotnie poprawia jakość życia chorych i zmniejsza nasilenie objawów takich jak: męczący kaszel, brak kondycji fizycznej, przewlekłe zmęczenie, kłopoty z koncentracją i obniżenie nastroju [33].

Autorzy Gorenstein i wsp. na podstawie badań przeprowadzonych w grupie 20 pacjentów w wieku 30 do 79 lat z niewydolnością oddechową w przebiegu COVID-19 podkreślili wysoką skuteczność i bezpieczeństwo stosowania tlenu hiperbarycznego i pozytywny wpływ zabiegów na stan zdrowia badanych [34].

Podobne wyniki zaprezentowali inni autorzy, którzy przeprowadzili badania wśród pacjentów z dodatnim wynikiem zakażenia SARS-CoV-2. Badani pacjenci mieli niskie wysycenie tlenem pomimo stosowania tlenoterapii z wysokim przepływem tlenu. Aby zapobiec konieczności wentylacji mechanicznej zastosowano u nich HBO. Pacjenci ci otrzymali od jednego do sześciu zabiegów w dedykowanych jednomiejscowych komorach hiperbarycznych [35,36].

Do chwili obecnej przeprowadzono jednak stosunkowo niewiele badań dotyczących stosowania HBO w grupie chorych zakażonych SARS COV2. Ograniczona zagadnienie. Dlatego też ostateczne potwierdzenie

regenerative processes. This therapy significantly improves the quality of life of patients and reduces the intensity of symptoms such as: tiring cough, lack of physical condition, chronic fatigue, trouble concentrating and depressed mood [33].

The authors of Gorenstein et al., On the basis of studies carried out in a group of 20 patients aged 30 to 79 years with respiratory failure in the course of COVID-19, emphasized the high effectiveness and safety of using hyperbaric oxygen and the positive effect of the treatments on the health of the subjects [34].

Similar results were presented by other authors who conducted studies among patients with positive results of SARS-CoV-2 infection. The study patients had low oxygen saturation despite the use of oxygen therapy with high oxygen flow. HBO was used to prevent the need for mechanical ventilation. These patients received from one to six treatments in dedicated single-site hyperbaric chambers [35,36].

To date, however, relatively few studies have been conducted on the use of HBO in the group of patients infected with SARS COV2. The number of references on this issue is also limited. Therefore, the final confirmation of the potential efficacy of HBO therapy in COVID-19 pneumonia requires evaluation in the future in randomized clinical trials.

CONCLUSION

Despite the complications and possible side effects, HBO is a valuable method of treating many diseases. Its effectiveness is confirmed by numerous studies. When used in conjunction with other methods, it shortens the total treatment time and lowers costs. However, this therapy should be used after proper selection of patients and planned according to their clinical condition and comorbidities, as, like any therapy, it is associated with the possibility of side effects.

potencjalnej skuteczności terapii HBO w zapaleniu płuc w przebiegu COVID-19 wymaga w przyszłości oceny w randomizowanych badaniach klinicznych.

PODSUMOWANIE

Mimo powikłań i możliwości wystąpienia działań niepożądanych HBO jest wartościową metodą leczenia wielu chorób. Skuteczność jej potwierdzają liczne badania. Stosowana w połączeniu z innymi metodami skraca całkowity czas leczenia i obniża koszty. Terapia ta powinna być jednak zastosowana po przeprowadzeniu właściwej kwalifikacji pacjentów i zaplanowana adekwatnie do ich stanu klinicznego i współistniejących schorzeń, jako, że jak każda terapia niesie za sobą możliwość wystąpienia działań niepożądanych.

REFERENCES

- Paprocki J., Gackowska M., Pawłowska M., Woźniak A. Aktualne zastosowanie hiperbarii tlenowej. *Med Rodz.* 2016, 19,4, 217-222.
- Narozny W., Siebert J. Możliwości i ograniczenia stosowania tlenu hiperbarycznego w medycynie. *Forum Medycyny Rodzinnej.* 2007, 1, 4, 368-375.
- Szymańska B., Kawecki M., Kniefel G. Kliniczne aspekty hiperbarii tlenowej. *Wiad. Lek.* 2006, 59, 105-109.
- Bigley N.J., Perymon H., Bowman G.C., Hull B., Stills H.F., Henderson R.A.. Inflammatory cytokines and cell adhesion molecules in a rat model of decompression sickness. *J Interferon Cytokine Res.* 2008, 28, 55-63.
- Kudchodkar B.J., Jones H., Simecka J., Dory L. Hyperbaric oxygen treatment attenuates the pro-inflammatory and immune responses in apolipoprotein E knockout mice. *Clin Immunol.* 2008, 128,3,435-441.
- Godman C.A., Chheda K.P., Hightower L.E., Perdrizet G., Shin D.G., Giardina C. Hyperbaric oxygen induces a cytoprotective and angiogenic response in human microvascular endothelial cells. *Cell Stress Chaperones.* 2010,15,431-42.
- Hadi H.A., Smerdon G.R., Fox S.W. Hyperbaric oxygen therapy suppresses osteoclast formation and bone resorption. *J Orthop Res.* 2013,31,11,1839-1844.
- Geng C.K., Cao H.H., Ying X., Yu H.L. Effect of mesenchymal stem cells transplantation combining with hyperbaric oxygen therapy on rehabilitation of rat spinal cord injury. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine.* 2015,8,6,468-473.
- Klimek M., Szaraniec W.; Rojczyk E., Wilemska-Kucharzewska K., Kucharzewski M. Rola Tlenu W Procesie Gojenia Ran. *Leczenie Ran.* 2017, 14,3, 103-108.
- Olszański R., Konarski M., Siermuntowski P. Leczenie tlenoterapią hiperbaryczną (HBOT) jako opcja terapeutyczna dla chorych na atopowe zapalenie skóry (AZS) – doświadczenia własne i przegląd piśmiennictwa. *Polish Hyperbaric Research.* 2017, 60,27-30.
- Cozene B., Sadanandan N., Gonzales-Portillo B., Saft M., Cho J., Park Y.J., Borlongan C.V. An Extra Breath of Fresh Air: Hyperbaric Oxygenation as a Stroke Therapeutic. *Biomolecules* 2020, 10, 1279-1305.
- Tamaki A., Silverman D.A., Ozer E. The Role of Hyperbaric Oxygen in Head and Neck Reconstruction and Facial Cosmetic Surgery. *Facial Plast Surg.* 2020, 36, 6, 753-759.
- Harch P.G., Fogarty E.F. Hyperbaric oxygen therapy for Alzheimer's dementia with positron emission tomography imaging: a case report. *Med Gas Res.* 2018,8,181-184.
- Granpeesheh D., Tarbox J., Dixon D.R., Wilke A.E., Allen M.S., Bradstreet J.J. Randomized trial of hyperbaric oxygen therapy for children with autism. *Res Autism Spectr Disord* 2010,4, 268-275.
- Sakulchit T., Ladish C., Goldman R.D.. Hyperbaric oxygen therapy for children with autism spectrum disorder *Canadian Family Physician.* 2017, 63, 6, 446-448.
- Clark J. Side effects. w Gesell L.B. *Hyperbaric oxygen therapy indications.* Durham, Undersea and Hyperbaric Medical Society Inc. 2008, 215-220.
- Chatterjee K., Zhang J., Honbo N., Karlier J.S.: Doxorubicin cardiomyopathy. *Cardiology* 2010, 115, 155-162.
- Tanaka K., Tanaka Y., Namba T., Azuma A., Mizushima T. Heat shock protein 70 protects against bleomycin-induced pulmonary fibrosis in mice. *Biochem Pharmacol.* 2010,80,920-923.
- Cobanoğlu H.B., Vuralkan E., Arslan A., Mirasoglu B., Toklu A.S. Is Hyperbaric Oxygen Therapy Effective in Cisplatin-Induced Ototoxicity in Rats. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2019,12,1, 66-71.
- Fischer I., Barak B. Molecular and Therapeutic Aspects of Hyperbaric Oxygen Therapy in Neurological Conditions. *Biomolecules* 2020, 10, 1247-1264.
- Moen I, Stuhr L. Hyperbaric oxygen therapy and cancer – a review. *Targ Oncol,* 2012, 7, 233-242.
- Kozakiewicz M., Olszański R., Siermuntowski P., Dąbrowiecki Z., Kędzióra J. Procesy pro- i antyoksydacyjne w warunkach hiperbarii. *Polish Hyperbaric Research.* 2011,1,34, 21-26.
- Kozakiewicz M., Kędzióra J., Kędzióra-Kornatowska K., Pawluk H., Olszański R., Dąbrowiecki Z., Kornatowski T. Wpływ hiperbarii na wybrane parametry stresu oksydacyjnego we krwi nurków. *Polish Hyperbaric Research.* 2005,3,12, 7-1.
- Paprocki J., Pawłowska M., Sutkowy P., Piechocki J., Woźniak A. Równowaga oksydacyjno-antyoksydacyjna we krwi osób z nagłym niedosłuchem czuciowo-nerwowym po przeprowadzonym pierwszym zabiegu hiperbarii tlenowej – badanie wstępne. *Polish Hyperbaric Research.* 2017,4,61, 15-24.
- Szyller J., Kozakiewicz M., Siermuntowski P. Wpływ hiperoksji i hiperbarii na ekspresję białek szoku cieplnego i aktywność syntazy tlenu azotu – przegląd badań. *Polish Hyperbaric Research.* 2017, 1,58, 41-50.
- Galecka E., Jacewicz R., Mrowicka M., Florkowski A., Galecki P. Enzymy antyoksydacyjne – budowa, właściwości, funkcje. *Pol Merk Lek.* 2008, 25,147,266- 268.
- Paprocki J., Pawłowska M., Piechocki J., Woźniak A. Wybrane wskaźniki stresu oksydacyjnego we krwi obwodowej osób z nagłym niedosłuchem czuciowo-nerwowym leczonych terapią kortykosteroidową skojarzoną z hiperbarią tlenową. *Biuletyn Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej.* 2017, 24, 80-82.
- Ni X.X., Ni M., Fan D.F., Sun Q., Kang Z.M., Cai Z.Y., Liu Y., Liu K., Li R.P., Xu W.G. Heat-shock protein 70 is involved in hyperbaric oxygen preconditioning on decompression sickness in rats. *Exp. Biol. Med.* 2013, 238,1, 12-22.
- Szymańska B., Kawecki M., Kniefel G. Clinical aspects of hyperbaric oxygenation. *Wiad Lek.* 2006,59,1-2,105-109.
- Siermuntowski P, Spalek E. Uraz ciśnieniowy zatok obocznych nosa u nurków. *Polish Hyperbaric Res.* 2005, 1,10,31-36.
- Stevens S.L., Narr A.J., Claus P.L., Millman M.P., Steinkraus L.W., Shields R.C., Buchta W.G., Haddon R., Wang Z., Murad M.H. The incidence of hypoglycemia during HBO2 therapy: A retrospective review. *Undersea Hyperb. Med.* 2015, 42, 3, 191-196.
- Iii M.H., Wojcik S.M., Swaby J., Boes T. Blood glucose levels in diabetic patients undergoing hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 2019, 46,4, 437-445.

33. Senniappan K., Jeyabalan S., Rangappa P., Kanchi M. .Hyperbaric oxygen therapy: Can it be a novel supportive therapy in COVID-19? Indian J Anaesth.2020, 64,10, 835-841.
34. Gorenstein S.A., Castellano M.L., Slone E.S., Gillette B. , Liu H., Alsamarraie C., Jacobson A.M., Wall S.P., Adhikari S., Swartz J.L., McMullen J.J.S., Osorio M., Koziatek C.A., Lee D.C. Hyperbaric oxygen therapy for COVID-19 patients with respiratory distress: treated cases versus propensity-matched controls .Undersea Hyperb Med.Third-Quarter. 2020,47,3,405-413.
35. Thibodeaux K., Speyrer M., Raza A., Yaakov R., Serena T.E. Hyperbaric oxygen therapy in preventing mechanical ventilation in COVID-19 patients: a retrospective case series J Wound Care. 2020, 1, 29(Sup5a), 4-8.
36. Guo D., PanS., Wang M., Guo Y. Hyperbaric oxygen therapy may be effective to improve hypoxemia in patients with severe COVID-2019 pneumonia: two case reports Undersea Hyperb Med.2020,47,2,181-187.

Daria Przybylska

Katedra i Klinika Dermatologii, Wenerologii i Dermatologii Dziecięcej,
Uniwersytet Medyczny w Lublinie

AN ANALYSIS OF A CASE OF DECOMPRESSION SICKNESS IN A DIVER

ANALIZA PRZYPADKU CHOROBY CIŚNIENIOWEJ U NURKA

Romuald Olszański¹⁾, Andrzej Borzęcki²⁾

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

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

²⁾ Chair and Department of Hygiene, Medical University of Lublin, Poland

²⁾ Katedra i Zakład Higieny, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The paper presents an accident of a diver in classic equipment. After several hours of hard work underwater, shortened instead of extended decompression was applied. The staff disregarded the symptoms of type I decompression sickness reported by the diver, and therefore the treatment was started with a significant delay. The use of recompression treatment - therapeutic decompression resulted in permanent and complete resolution of symptoms.

Keywords: classic equipment, improper decompression, ignoring symptoms, skin and joint form of decompression sickness.

W pracy przedstawiono wypadek nurka w sprzęcie klasycznym. Po kilkugodzinnej ciężkiej pracy pod wodą zastosowana skrócona, zamiast wydłużonej dekompresję. Obsługa zlekceważyła zgłaszane przez nurka objawy choroby dekompresyjnej typu I w związku z czym leczenie rozpoczęto ze znacznym opóźnieniem. Zastosowanie leczenia rekompresją – dekompresją leczniczą spowodowało trwałe i całkowite ustąpienie objawów.

Słowa kluczowe: sprzęt klasyczny, niewłaściwa dekompresja, lekceważenie objawów, postać skórna i stawowa choroby dekompresyjnej.

В статье представлен несчастный случай водолаза в классическом снаряжении. После нескольких часов напряженной работы под водой, вместо расширенной декомпрессии, была применена укороченная. Персонал проигнорировал симптомы декомпрессионной болезни I типа, о которых сообщил водолаз, в связи с чем, лечение было начато со значительной задержкой. Применение рекомпрессионного лечения - лечебной декомпрессии, привело к стойкому и полному исчезновению симптомов.

Ключевые слова: классическое снаряжение, неправильная декомпрессия, игнорирование симптомов, кожно-суставная форма декомпрессионной болезни.

In diesem Beitrag wird der Unfall eines Tauchers in klassischer Ausrüstung geschildert. Nach mehreren Stunden harter Arbeit unter Wasser wurde eine verkürzte statt einer verlängerten Dekompression durchgeführt. Das Personal missachtete die vom Taucher angegebenen Symptome der Dekompressionskrankheit vom Typ I, so dass die Behandlung mit erheblicher Verzögerung eingeleitet wurde. Die Anwendung der Rekompressionsbehandlung - therapeutische Dekompression - führte zu einer dauerhaften und vollständigen Beseitigung der Symptome.

Schlüsselwörter: klassische Ausrüstung, unzureichende Dekompression, Unterschätzung der Symptome, kutane und artikulare Form der Dekompressionskrankheit.

En el trabajo se ha presentado el caso de un buzo con equipo clásico. Tras varias horas de duro trabajo bajo el agua se empleó una descompresión acortada, en lugar de una más larga. El personal menospreció los síntomas notificados por el buzo de enfermedad descompresiva del tipo I, en relación con lo cual el tratamiento comenzó con un retraso considerable. El empleo de un tratamiento de recompresión - descompresión terapéutica provocó la desaparición permanente y total de los síntomas.

Palabras clave: equipo clásico, descompresión incorrecta, subestimación de los síntomas, forma cutánea y articular de la enfermedad descompresiva.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 85 – 88

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0023

Pages: 4, figures: 0, tables: 1

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

Typ artykułu: kazuistyczny, opis przypadku
Case studies article

Termin nadesłania: 13.03.2019 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.02.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Zgodnie z podziałem anglosaskim, przypadki chorób ciśnieniowych dzieli się, zależnie od stanu chorego, na typ I („łagodny”), obejmujący tylko bóle w jednym lub kilku stawach, o zmiennym natężeniu (przyjęty termin międzynarodowy „bends”), oraz typ II („ciężki”), obejmujący pozostałe objawy, przede wszystkim neurologiczne (zaburzenia czucia, niedowład, porażenia), a także objawy krążeniowo-oddechowe [1,2,3].

Zestawienia statystyczne wykazują, że ok. 90% wszystkich przypadków choroby ciśnieniowej (ch.c.) to ostry zespół bólowy o charakterze osteo-myo-artralgii [4,5,3]. Zagrożenie ch.c. ocenia się różnie. Średnio zdarza się ona w 5% ekspozycji hiperbarycznych. Okres utajenia w ch.c. trwa różnie długo, jednak przeważa pogląd, że w okresie do 6 godzin po zakończeniu dekompresji występują objawy w 90% przypadków [5,6,7,2].

Jedynym leczeniem przyczynowym ch.c. jest rekompresja lecznicza. W przypadkach wątpliwych rekompresja powinna być stosowana jako „test ciśnieniowy”, a wystąpienie nagłej poprawy potwierdza zazwyczaj ch.c. [1,6,2,3].

W tabeli I przedstawione są czynniki wpływające na przebieg dekompresji [8].

Przypadki ch.c. nasilają się w związku z rosnącą liczbą ludzi uprawiających nurkowanie swobodne bez nadzoru, bez przygotowania, lekceważących podstawowe zasady bezpieczeństwa i fizjologii nurkowania, nie przedstawiających zasad i tabel dekompresji [6].

Poniżej przedstawiam przypadek ch.c. u nurka powstały w wyniku lekceważenia zasad dekompresji.

INTRODUCTION

In accordance with the Anglo-Saxon classification, cases of decompression sickness are divided, depending on the patient's condition, into Type I ("mild"), covering only pain in one or more joints of varying severity (the accepted international term "bends"), and Type II ("severe"), covering other symptoms, primarily neurological (sensory disorders, paresis, paralysis), as well as cardiopulmonary symptoms [1,2,3].

Statistical reports show that about 90% of all cases of decompression sickness (DCS) are acute osteo-myo-arthralgia [4,5,3]. The risk of DCS is assessed variably. On average, it occurs in 5% of hyperbaric exposures. The duration period of latency in DCS differs, however, the prevailing opinion is that within up to 6 hours after decompression, 90% of cases develop symptoms [6,7,2].

The only causal treatment of DCS is therapeutic recompression. In doubtful cases, recompression should be used as a "pressure test", and the occurrence of a sudden improvement usually confirms DCS [1,6,2,3].

Table I illustrates the factors influencing the decompression process [8].

The cases of DCS are growing in connection with the increasing number of individuals practicing diving unsupervised, unprepared, disregarding the basic principles of diving safety and physiology, not observing decompression rules and tables [6].

Below I present a case of DCS in a diver resulting from failure to observe decompression principles.

Tab. 1.

A case of DCS in a diver resulting from failure to observe decompression principles.

Przypadek ch.c. u nurka powstały w wyniku lekceważenia zasad dekompresji.

Physiological	Environmental	Technical
Age	Gas environment	Ascent rate
Gender	Aquatic environment	Decompression profile
Body build	Pressure	(gradual, continuous)
		Distance between stations
Adipose tissue content	Type of breathing mix	Activity during decompression
General fitness	Exposure time	
Specific fitness	Temperature	Body position
		Trips from plateau
Fatigue	Time of day	Repeated exposures
Cooling		Mix change
	CO2 concentration	Use of oxygen
Overheating	Humidity	Type of equipment and its characteristics
Psychological (anxiety)		
Sleep	Chemical and biological contamination	
Historic diseases		
Historic injuries	Noise	
Diet	Ionisation	
Smoking	Sea condition	
Drinking alcohol		
Prescription drug addiction		
Motion sickness		

OPIS PRZYPADKU

W dniu 12.08.1982 r. starszy nurek J.P., lat 44, w godzinach 9.00-13.45 nurkował w sprzęcie klasycznym na głębokości 12-15 m. Warunki meteorologiczne w rejonie nurkowania określono jako dobre; temperatura powietrza 25°C, wody 16°C przy stanie morza 2° w skali Beauforta. Pod wodą pracował bardzo ciężko, usuwając zwały mułu z dna. Warstwa mułu sięgała miejscami do półtora metra głębokości. Muł był zbity, twardy. Pracę tę wykonywał za pomocą inżektora powietrznego, tak zwanej rury „mamut”. Podczas dekompresji zastosowano stację na głębokości 3 m o czasie 15 minut.

Po około 2 godzinach od zakończenia nurkowania u nurka wystąpiły bóle w okolicy stawów barkowych i kolanowych, drętwienie kończyny dolnej prawej oraz uporczywy świąd w okolicy klatki piersiowej i brzucha. O powyższych dolegliwościach poinformował kolegów, ale ci mu tylko „współczuli”, nie udzielając żadnej konkretnej pomocy. W domu zauważył w okolicach brzucha plamistą wysypkę z towarzyszącym świądem i uczuciem kłucia po całym ciele. Drętwienie kończyny dolnej prawej ustąpiło. Bóle stawowe, początkowo łagodne, potęgowały się, stając się nie do zniesienia. Przejściową ulgę przynosiło energiczne rozcieranie stawów. Poradził się sąsiada-lekarza neurologa, który polecił mu natychmiast udać się do komory dekompresyjnej.

Przy przyjęciu lekarz OSNiPWP stwierdził:

- Przyspieszenie oddechu do 20/min i tętna do 100/min,
- RR-130/80,
- Plamistą, cętkowaną wysypkę w okolicy brzucha, gdzie skóra przybierała wygląd marmuru,
- Bóle w okolicach stawów barkowych i kolanowych. Charakter bólów – głęboki i wierzący.

Ruchy w danej okolicy nie wpływały na ból. Badaniem neurologicznym odchyłań od normy nie stwierdzono. Na podstawie powyższych dolegliwości i wywiadu rozpoznano chorobę ciśnieniową typu I i zastosowano rekompresję leczniczą wg II reżimu – najwyższe ciśnienie 0,5 MPa [9].

Podczas rekompresji (przy 0,15-0,2 MPa) bóle w okolicy stawów barkowych i kolanowych przybrały charakter tępych, a przy ciśnieniu 0,3 MPa całkowicie ustąpiły. Pod powyższym ciśnieniem ustąpiły także dolegliwości skórne. Po 30 minutach pobytu pod ciśnieniem 0,5 MPa, badaniem podmiotowym i przedmiotowym odchyłań od normy nie stwierdzono. Podczas dekompresji poniżej 0,1 MPa stosowano w komorze tlenoterapię. Ogólny czas pobytu w komorze dekompresyjnej wynosił 26 godzin i 11 minut. W czasie dekompresji, a także po zakończeniu leczenia, nawrotów chorobowych nie było. Badaniem przedmiotowym po leczeniu odchyłań od normy nie stwierdzono. Przeprowadzono badania specjalistyczne (internistyczne, laryngologiczne, neurologiczne oraz badania dodatkowe), których wyniki nie odbiegały od normy.

CASE STUDY

On 12.08.1982, senior diver J.P., age 44, dived from 9.00 to 13.45 in typical equipment to a depth of 12-15 m. The meteorological conditions in the diving area were described as good; air temperature 25°C, water temperature 16°C at sea level 2 on the Beaufort scale. He performed hard work under water, removing silt from the bottom. The layer of silt was at times one and a half meters deep. The silt was solid and hard. He used an air injector, the so-called "mammoth" pipe, to carry out this task. His decompression was carried out at a depth of 3 m for 15 minutes.

About 2 hours after the dive, the diver suffered from pain in the shoulder and knee joints, numbness in the right lower limb and persistent itching in the chest and abdomen. He informed his colleagues about these ailments, but they only "sympathised" with him without offering any specific help. At home, he noticed a spotted rash near his abdomen, accompanied by itching and the feeling of stinging all over his body. The numbness of the right lower limb subsided. The joint pains, initially mild, intensified and became unbearable. A temporary relief was provided by energetic rubbing of the joints. His neighbour, a neurologist, advised him to immediately go to the decompression chamber.

On admission, the OSNiPWP doctor found the following:

- Breathing acceleration up to 20/min and heart rate up to 100/min,
- RR-130/80,
- Spotted, mottled rash in the abdominal area, where the skin took on the appearance of marble,
- Pain in the shoulder and knee joints. Nature of pain - deep and drilling.

Movements in a given area did not influence the pain. Neurological examination showed no abnormalities. On the basis of the above mentioned ailments and interview, a type I pressure disease was diagnosed and therapeutic recompression according to table two was applied - highest pressure 0.5 MPa [9].

During recompression (at 0.15-0.2 MPa), the pain in the shoulder and knee joints became dull, and at 0.3 MPa the pain disappeared completely. Under this pressure, the skin symptoms also disappeared. After 30 minutes exposed to a pressure of 0.5 MPa, no abnormalities were found in the subjective and objective examination. During decompression below 0.1 MPa oxygen therapy was applied in the chamber. The total duration of stay in the decompression chamber was 26 hours and 11 minutes. No relapses occurred during decompression or after completion of treatment. No abnormalities were found after the treatment. Specialist examinations (internal medicine, laryngology, neurology and additional examinations) were carried out, the results of which did not deviate from the norm.

DISCUSSION

The above case is an example of disregard for the rules of diving. After a dive lasting a few hours, incorrect decompression was applied. The decompression was performed without the use of any tables, with the



OMÓWIENIE

Powyższy przypadek jest przykładem lekceważenia przepisów służby nurkowej. Po kilkugodzinnym pobycie nurka pod wodą, zastosowano niewłaściwą dekompresję. Dekompresja była wykonywana bez żadnych tabel, a nawet dokładnie nie zmierzono głębokości, na której nurek przebywał. Zgodnie z „Tabelami dekompresji i rekompresji nurków” Mar. Woj. 860/81 z 1982r., nurek po tego rodzaju ekspozycji powinien podczas dekompresji odbyć dwa przystanki (pierwszy na głębokości 6m o czasie 10 minut, drugi na głębokości 3m o czasie 16 minut), tymczasem odbył on tylko jeden przystanek na głębokości 3 m o czasie 15 minut. Ponadto dekompresja powinna być wydłużona dodatkowo, ponieważ nurek wykonywał bardzo ciężką pracę fizyczną pod wodą.

Najbardziej jednak zaskakujący jest fakt, że kiedy u nurka wystąpiły objawy typowe dla choroby ciśnieniowej – nikt z „zabezpieczających” nie pomyślał o wypadku dekompresyjnym i poza „wyrazami współczucia” nie uczyniono nic by mu pomóc.

Poważnym niedociągnięciem w obserwowanym przypadku były zaniedbania typu organizacyjnego, a przede wszystkim brak należytego zabezpieczenia ze strony medycznej, co niewątpliwie wpłynęło na znaczne opóźnienie podjęcia decyzji o leczeniu nurka po zaistniałym wypadku, a jednocześnie mogło mieć poważne konsekwencje zarówno dla zdrowia, jak i dla życia poszkodowanego.

Zastosowanie rekompresji leczniczej w omawianym przypadku, mimo upływu kilku godzin od zakończenia nurkowania i wystąpienia objawów, okazało się słuszne i uzyskano całkowite wyleczenie.

WNIOSKI

1. Organizacja nurkowań powinna być przeprowadzona zgodnie z przepisami służby nurkowej.
2. Głębokość każdego nurkowania powinna być dokładnie zmierzona przed nurkowaniem.
3. W przypadkach nurkowań w warunkach niekorzystnych (wykonywanie bardzo ciężkich prac fizycznych) należy stosować dekompresję wydłużoną.

REFERENCES

1. Kidd D.J., Elliott D.H.: „Clinical manifestations and treatment of decompression sickness divers, w: „The physiology and medicine of diving”, Bailliere Tindall and Cassell, London 1969.
2. Łokucijewski B.: „wypadki dekompresyjne – zator gazowy, choroba ciśnieniowa” w: „Podstawy terapii hiperbarycznej” pod red. T. Doboszyńskiego i T. Orłowskiego. WAM Wewn. 89/77, Gdynia 1977
3. Shilling C.W., Werta M.F., Schandelmeier N.R.: „Decompression sickness”, w: „The Underwater Handbook”, Plenum Press, New York and London 1976.
4. Gwoździewicz J., Łaba L.: „Biul. Inst. Med. Morsk. 1963, 14:175.
5. Gwoździewicz J.: „Biul. Inst. Med. Morsk. 1965, 16:171.
6. Łokucijewski B.: „Choroba ciśnieniowa” w: „Zarys fizjopatologii nurkowania” pod red. A.Dolatkowskiego i K.Ulewicza, PZWL, Warszawa 1973.
7. Łokucijewski B., Teresiński S.: Lek. Wojsk. 1973, 3:249.
8. Doboszyński T., Łokucijewski B.: „Model dekompresji oraz zasady rekompresji leczniczej dla nurków saturowanych przy użyciu powietrza”, Gdynia 1982 (praca nie publikowana).
9. „Tabele dekompresji i rekompresji nurków”, Mar. Woj. 860/81, Gdynia 1982.

prof. dr hab. n. med. Romuald Olszański

Instytut Medycyny Morskiej i Tropikalnej
Wojskowa Akademia Medyczna
Ul. Grudzińskiego 4
81-103 Gdynia
romuald.olszanski@wp.pl

depth at which the diver was staying not measured accurately.

According to "Decompression and recompression tables for divers" Mar. Woj. 860/81 from 1982, following this kind of exposure, the diver should make two stops during decompression (the first at a depth of 6m for 10 minutes, the second at a depth of 3m for 16 minutes), whereas he made a single stop at a depth of 3m for just 15 minutes. Moreover, the decompression should have been additionally prolonged owing to the fact that the diver performed very hard physical work under water.

What is most surprising, however, is the fact that when the diver had symptoms typical of decompression sickness - none of the "safety" divers thought of a decompression incident and, apart from "expressions of sympathy", no measures were taken to help him.

A serious deficiency in the observed case was the negligence of the organisational type, and above all the lack of adequate medical protection, which undoubtedly resulted in a significant delay in the decision to treat the diver after the accident, and at the same time could have had serious consequences for both the health and life of the injured person.

The application of therapeutic recompression in the case in question, despite the passage of a few hours from the completion of the dive and the occurrence of symptoms, proved to be correct and a complete recovery was achieved.

CONCLUSIONS

1. The organisation of dives should be carried out in accordance with the diving service regulations.
2. The depth of each dive should be accurately measured prior to the dive.
3. In cases of diving in unfavourable conditions (performing very strenuous physical work), extended decompression should be used.

IMPLEMENTATION OF SELF-GOVERNMENT TASKS IN THE FIELD OF SOCIAL AND VOCATIONAL REHABILITATION OF DISABLED PEOPLE IN THE LUBELSKIE VOIVODESHIP IN 2008-2017

REALIZACJA ZADAŃ SAMORZĄDU W ZAKRESIE REHABILITACJI SPOŁECZNEJ I ZAWODOWEJ OSÓB NIEPEŁNOSPRAWNYCH W WOJEWÓDZTWIE LUBELSKIM W LATACH 2008-2017

Janusz Iwanicki¹⁾, Barbara Nieradko-Iwanicka²⁾

¹⁾ Municipal Disability Adjudication Team in Lublin, Poland

¹⁾ Miejski Zespół do spraw Orzekania o Niepełnosprawności w Lublinie

²⁾ Chair and Department of Hygiene and Epidemiology, Medical University of Lublin, Poland

²⁾ Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Disability is an interdisciplinary-medical, social and professional phenomenon. The goal of medical professionals is to treat a person and restore his or her fitness. The group of disabled people in Poland is characterized by a lower level of education than among non-disabled people and high unemployment. The purpose of vocational rehabilitation is to make it easier for a disabled person to obtain and maintain appropriate employment and career advancement. Social rehabilitation is defined as an activity aimed at enabling a disabled person to fully participate in social life. The tasks of the local government addressed to disabled people include conducting occupational therapy workshops (WTZ), occupational activity establishments (ZAZ), community self-help homes (ŚDS) and social welfare homes (DPS).

The aim of the study was to analyze the implementation of self-government tasks in the field of social and vocational rehabilitation of disabled people, with particular emphasis on ZAZ in the Lubelskie Voivodeship in 2008-2017.

The work uses data collected in 2008-2017 by the Regional Center for Social Policy (ROPS) in Lublin. In addition, in December 2017, they were sent by e-mail to ROPS and Marshal's Offices in voivodship cities in Poland, inquiries about tasks and ways of implementing these tasks in the field of social and vocational rehabilitation of disabled people in 2008-2017. The available data on expenditure from the State Fund for Rehabilitation of the Disabled (PFRON) was collected. The research material was statistically developed using the IBM SPSS Statistics (v. 25) and Statistica (v. 13) statistical packages.

In the years 2008-2017 in the Lubelskie Voivodeship, PLN 75,529,959 was allocated for vocational and social rehabilitation of people with disabilities, the most (PLN 9,158,243) in 2016. In the same year, the largest number of people used the ZAZ. In 2008-2017, the average annual amount of expenditure on social and vocational rehabilitation of disabled people in all Polish provinces was PLN 7 576 718.9. In the discussed period, the highest amounts from PFRON were allocated to the rehabilitation of disabled people in the Śląskie Voivodeship, and the lowest in Lubuskie, while Lubelskie received average amounts.

In Poland, in the field of social and vocational rehabilitation and employment of disabled people, solutions similar to those already developed are applied in the countries of Western Europe. The costs of financing vocational rehabilitation, understood as financing the functioning of the ZAZ by voivodship self-governments, are constantly growing. The growing expenses incurred on the activities of the ZAZ do not significantly improve the situation related to vocational rehabilitation and employment of disabled people. Improving the operation of the system of vocational and social rehabilitation of people with disabilities should not only consist in increasing the funds spent under the current inefficient system, but should be preceded by a thorough analysis of the current state and the development of extensive organizational changes.

Keywords: a disabled person; social rehabilitation; vocational rehabilitation.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 77 Issue 4 pp. 89 – 102

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0024

Pages: 14, figures: 1, tables: 3

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 29.06.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.10.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Niepelnosporność jest zjawiskiem interdyscyplinarnym-medycznym, społecznym, zawodowym. Celem działania profesjonalistów medycznych ma być leczenie osoby i przywrócenie jej sprawności. Grupa osób niepełnosprawnych w Polsce charakteryzuje się niższym poziomem wykształcenia niż występujący wśród osób sprawnych oraz wysokim bezrobociem. Celem rehabilitacji zawodowej jest ułatwienie osobie niepełnosprawnej uzyskania i utrzymania odpowiedniego zatrudnienia oraz awansu zawodowego. Rehabilitacja społeczna jest definiowana jako działanie mające umożliwić osobie niepełnosprawnej pełne uczestnictwo w życiu społecznym. Wśród zadań samorządu adresowanych do osób niepełnosprawnych jest prowadzenie warsztatów terapii zajęciowej (WTZ), zakładów aktywności zawodowej (ZAZ), środowiskowych domów samopomocy (ŚDS) czy domów pomocy społecznej (DPS).

Celem pracy była analiza realizacja zadań samorządu w zakresie rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych ze szczególnym uwzględnieniem ZAZ w województwie lubelskim w latach 2008-2017. W pracy wykorzystano dane zgromadzone w latach 2008-2017 przez Regionalny Ośrodek Polityki Społecznej (ROPS) w Lublinie. Ponadto, w grudniu 2017 roku rozesłano drogą mailową do ROPS oraz Urzędów Marszałkowskich w miastach wojewódzkich w Polsce zapytania o zadania oraz sposoby realizowania tych zadań w sferze rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych w latach 2008-2017. Zebrano dostępne dane na temat wydatków z Państwowego Funduszu Rehabilitacji osób Niepełnosprawnych (PFRON). Materiał badawczy opracowano statystycznie za pomocą pakietów statystycznych IBM SPSS Statistics (v. 25) oraz Statistica (v.13). W latach 2008-2017 w województwie lubelskim przeznaczono 75 529 959 złotych na rehabilitację zawodową i społeczną osób niepełnosprawnych, najwięcej (9 158 243zł) w 2016r. W tym samym roku największa liczba osób korzystała z ZAZ. W latach 2008-2017 średnia roczna kwota wydatków na rehabilitację społeczną i zawodową osób niepełnosprawnych we wszystkich województwach Polski wyniosła 7 576 718,9 złotych. W omawianym okresie najwyższe kwoty z PFRON były przeznaczane na rehabilitację osób niepełnosprawnych w województwie śląskim, zaś najniższe w lubuskim, a lubelskie otrzymywało kwoty średnie.

W Polsce w zakresie rehabilitacji społeczno - zawodowej i zatrudniania osób niepełnosprawnych stosuje się rozwiązania zbliżone do wypracowanych w państwach zachodniej Europy. Koszty finansowania rehabilitacji zawodowej, rozumianej jako finansowanie funkcjonowania ZAZ przez samorządy województw, stale rosną. Rosnące wydatki ponoszone na działalność ZAZ nie poprawiają w znaczącym stopniu sytuacji związanej z rehabilitacją zawodową i zatrudnianiem osób niepełnosprawnych. Usprawnianie działania systemu rehabilitacji zawodowej i społecznej osób niepełnosprawnych nie powinno polegać wyłącznie na zwiększaniu środków finansowych wydatkowanych w ramach obecnego mało wydolnego systemu, ale powinno być poprzedzone gruntowną analizą stanu obecnego i wypracowaniem szerokiej zmian organizacyjnych.

Słowa kluczowe: osoba niepełnosprawna; rehabilitacja społeczna; rehabilitacja zawodowa.

Инвалидность является междисциплинарным явлением - медицинским, социальным и профессиональным. Целью медицинских работников является лечение человека и восстановление его физической формы. Группа инвалидов в Польше характеризуется более низким уровнем образования, чем среди здоровых людей, и высокой безработицей. Цель профессиональной реабилитации состоит в том, чтобы облегчить инвалиду получение и поддержание соответствующей занятости и профессионального роста. Социальная реабилитация определяется как деятельность, направленная на то, чтобы дать возможность инвалиду полноценно участвовать в общественной жизни. В задачи местного самоуправления, адресованные инвалидам, входит проведение трудотерапевтических мастерских (WTZ), центров профессиональной деятельности (ZAZ), общинных домов самопомощи (ŚDS) и домов социальной защиты (DPS). Цель работы заключалась в анализе выполнения задач органов местного самоуправления в сфере социальной и профессиональной реабилитации инвалидов с особым акцентом на ZAZ в Люблинском воеводстве в 2008-2017 годах.

В работе использованы данные, собранные в 2008-2017 годах Региональным центром социальной политики (ROPS) в Люблине. Кроме того, в декабре 2017 года по электронной почте были направлены запросы в ROPS и Маршалковские Управления в воеводских городах Польши о задачах и способах реализации этих задач в сфере социальной и профессиональной реабилитации людей с инвалидностью в 2008-2017 годах. Были собраны имеющиеся данные о расходах Государственного фонда реабилитации инвалидов (PFRON). Статистическая обработка материалов исследования проводилась с использованием статистических пакетов IBM SPSS Statistics (v. 25) и Statistica (v.13). В период 2008-2017 годов на профессиональную и социальную реабилитацию людей с ограниченными возможностями в Люблинском воеводстве было выделено 75 529 959 злотых, наибольшая сумма (9 158 243 злотых) - в 2016 году. В том же году наибольшее количество людей использовало ZAZ. В 2008-2017 годах среднегодовые расходы на социальную и профессиональную реабилитацию инвалидов во всех воеводствах Польши составили 7 576 718,9 злотых. В рассматриваемый период самые высокие суммы из PFRON были выделены на реабилитацию инвалидов в Силезском воеводстве, самые низкие - в Любушском воеводстве, а Люблинское воеводство получило средние суммы. В Польше в сфере социально-профессиональной реабилитации и трудоустройства инвалидов применяются решения, аналогичные тем которые разработаны в странах Западной Европы. Расходы на финансирование профессиональной реабилитации, понимаемой воеводскими властями как финансирование функционирования ZAZ, постоянно растут. Растущие расходы на деятельность ZAZ существенно не улучшают ситуацию с профессиональной реабилитацией и трудоустройством инвалидов. Совершенствование функционирования системы профессиональной и социальной реабилитации инвалидов должно заключаться не только в увеличении средств, затрачиваемых при действующей неэффективной системе, но должно предшествовать тщательному анализу текущего состояния и разработке масштабных организационных изменений.

Ключевые слова: инвалид; социальная реабилитация; профессиональная реабилитация.

Behinderung ist ein interdisziplinäres Phänomen – medizinisch, sozial und beruflich. Das Ziel der Mediziner ist es, die Person zu behandeln und ihre Fitness wiederherzustellen. Die Gruppe der Menschen mit Behinderungen in Polen ist durch ein niedrigeres Bildungsniveau als bei Nichtbehinderten und eine hohe Arbeitslosigkeit gekennzeichnet. Ziel der beruflichen Rehabilitation ist es, einem behinderten Menschen den Zugang zu erleichtern und Aufrechterhaltung einer angemessenen Beschäftigung und beruflichen Weiterentwicklung. Soziale Rehabilitation ist definiert als eine Aktivität, die darauf abzielt, einem behinderten Menschen die volle Teilnahme am gesellschaftlichen Leben zu ermöglichen. Zu den an Behinderte gerichteten Aufgaben der Kommunalverwaltung gehören die Durchführung von ergotherapeutischen Werkstätten (WTZ), Berufstätigkeitszentren (ZAZ), kommunalen Selbsthilfeheimen (ŚDS) und Sozialhilfeheimen (DPS).

Ziel der Studie war es, die Umsetzung der Aufgaben der lokalen Verwaltung im Bereich der sozialen und beruflichen Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen unter besonderer Berücksichtigung der ZAZ (Einrichtung für Berufliche Aktivitäten) in der Woiwodschaft Lublin in den Jahren 2008-2017 zu analysieren.

Für die Studie wurden Daten verwendet, die zwischen 2008 und 2017 vom Regionalen Zentrum für Sozialpolitik (ROPS) in Lublin erhoben wurden. Darüber hinaus wurden im Dezember 2017 per E-Mail Anfragen an die ROPS und die Marschallämter in den polnischen Woiwodschafts-Hauptstädten zu den Aufgaben und der Umsetzung dieser Aufgaben im Bereich der sozialen und beruflichen Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen für die Jahre 2008-2017 verschickt. Es wurden verfügbare Daten über die Ausgaben des Staatlichen Fonds für die Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen (PFRON) gesammelt. Das Forschungsmaterial wurde mit den Statistikpaketen IBM SPSS Statistics (v. 25) und Statistica (v.13) statistisch verarbeitet.

In den Jahren 2008-2017 wurden in der Woiwodschaft Lublin 75.529.959 PLN für die berufliche und soziale Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen bereitgestellt, der höchste Betrag (9.158.243 PLN) im Jahr 2016. In diesem selben Jahr nahmen die meisten Petenten die Hilfe des ZAZ in Anspruch. Zwischen 2008 und 2017 betrug der Jahresdurchschnittsbetrag, der für die soziale und berufliche Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen in allen Woiwodschaften Polens ausgegeben wurde, 7.576.718,9 PLN. Im fraglichen Zeitraum wurden die höchsten Beträge aus dem PFRON für die Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen in der Woiwodschaft Schlesien bereitgestellt, die niedrigsten Beträge gab es in der Woiwodschaft Lebus, die Woiwodschaft Lublin zahlte durchschnittliche Beträge.

In Polen kommen im Bereich der sozialen und beruflichen Rehabilitation und der Beschäftigung von Menschen mit Behinderungen ähnliche Lösungen wie in den westeuropäischen Ländern zur Anwendung. Die Kosten für die Finanzierung der beruflichen Rehabilitation, d. h. die Finanzierung der Einrichtung ZAZ durch die Provinzregierungen, steigen ständig. Die wachsenden Ausgaben für diese Einrichtung verbessern die Situation im Bereich der beruflichen Rehabilitation und Beschäftigung von Menschen mit Behinderungen nicht wesentlich. Die Verbesserung der Funktionsweise des Systems der beruflichen und sozialen Rehabilitation von Menschen mit Behinderungen sollte nicht nur in einer Aufstockung der finanziellen Mittel bestehen, die im Rahmen des derzeitigen Systems ausgegeben werden - und das nicht sehr effizient ist -, sondern es sollte eine gründliche Analyse des derzeitigen Zustands und die Entwicklung umfassender organisatorischer Änderungen vorausgehen.

Schlüsselwörter: behinderte Menschen; soziale Rehabilitation; berufliche Rehabilitation.

La discapacidad es un fenómeno interdisciplinario: médico, social y profesional. El objetivo de los profesionales médicos es tratar a la persona y restaurar su estado físico. El grupo de personas con discapacidad en Polonia se caracteriza por un nivel de educación más bajo que entre las personas sin discapacidad y un alto desempleo. El objetivo de la readaptación profesional es facilitar que una persona discapacitada obtenga y el mantenimiento de un empleo adecuado y la promoción profesional. La rehabilitación social se define como una actividad destinada a permitir que una persona discapacitada participe plenamente en la vida social. Las tareas del gobierno local dirigidas a los discapacitados incluyen la realización de talleres de terapia ocupacional (WTZ), centros de actividad profesional (ZAZ), hogares comunitarios de autoayuda (SDS) y hogares de asistencia social (DPS). El objetivo del trabajo era analizar la realización de las actuaciones de la administración en el campo de la rehabilitación social y profesional de personas discapacitadas, prestando especial atención a los Centros de Actividad Profesional (ZAZ) en el voivodato de Lublin en los años 2008-2017. En el trabajo se han empleado datos recopilados en los años 2008-2017 por el Centro Regional de Política Social (ROPS) de Lublin. Además, en diciembre de 2017 se envió por correo electrónico al ROPS y las Oficinas del Mariscal en las capitales de voivodatos de Polonia una solicitud de información acerca de las actuaciones y la forma de realización de estas actuaciones en la esfera de la rehabilitación social y profesional de las personas discapacitadas en los años 2008-2017. Se recogieron los datos disponibles relativos a los gastos del Fondo Estatal de Rehabilitación de Personas Discapacitadas (PFRON). El material de investigación fue preparado estadísticamente con ayuda de los paquetes estadísticos IBM SPSS Statistics (v. 25) y Statistica (v.13).

En los años 2008-2017 se destinaron en el voivodato de Lublin 75 529 959 eslotis para la rehabilitación profesional y social de personas discapacitadas, la mayor cantidad (9 158 243 PLN) en 2016. En ese mismo año fue cuando un mayor número de personas utilizó los servicios de ZAZ. En los años 2008-2017 el importe anual medio de los gastos en rehabilitación social y profesional de personas discapacitadas en todos los voivodatos de Polonia fue de 7 576 718,9 eslotis. En el periodo considerado los importes más altos de PFRON fueron destinados a la rehabilitación de personas discapacitadas en el voivodato de Silesia, mientras que los más bajos en el de Lubusz, recibiendo el de Lublin unos importes medios. En Polonia, en el ámbito de la rehabilitación social y profesional y la contratación de personas discapacitadas se emplean soluciones similares a las desarrolladas en los países de Europa Occidental. Los costes de financiación de la rehabilitación profesional, entendidos como la financiación del funcionamiento de ZAZ por los gobiernos de los voivodatos, crecen permanentemente. Los gastos crecientes asumidos por la actividad de ZAZ no mejoran de forma considerable el grado de satisfacción relacionado con la rehabilitación profesional y la contratación de personas discapacitadas. La mejora del funcionamiento del sistema de rehabilitación profesional y social de personas discapacitadas no debería consistir únicamente en un aumento de los recursos financieros gastados en un sistema actualmente poco eficiente, sino que debería ir precedida de un análisis a fondo del estado actual y de la preparación de amplios cambios organizativos.

Palabras clave: persona discapacitada; rehabilitación social; rehabilitación profesional.

WSTĘP

Niepełnosprawność jest zjawiskiem interdyscyplinarnym [1]. Pojęcie niepełnosprawności jest ściśle związane z pojęciem zdrowia. Konstytucja Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) z 1946 r. opisuje zdrowie jako pełny, fizyczny, psychiczny i społeczny dobrostan człowieka, a nie tylko jako brak choroby lub niepełnosprawności. Jak napisano w pierwotnym tekście konstytucji przyjętym przez władze Polski: „Zdrowie jest stanem zupełnej pomyślności fizycznej, umysłowej i społecznej, a nie tylko brakiem choroby lub ułomności” [2]. Definicja ta jest zarazem utrwalona, jak i otwarta, czego wyrazem jest postępujące obecnie rozszerzanie jej o zdrowie duchowe i seksualne.

Współcześnie wyróżnia się dwa modele niepełnosprawności: medyczny i społeczny. Model medyczny narzuca definiowanie niepełnosprawności w kontekście sprawności lub braku sprawności organizmu człowieka. Niepełnosprawność wynika bezpośrednio z choroby lub uszkodzenia organizmu. Model społeczny niepełnosprawności uznaje zaś istnienie zewnętrznych barier ograniczających osobom niepełnosprawnym możliwości pełnego korzystania z dóbr dostępnych osobom sprawnym [3]. Modele medyczny i społeczny niepełnosprawności zostały zdefiniowane w Międzynarodowej Klasyfikacji Funkcjonowania Niepełnosprawności i Zdrowia (ICF) opracowanej przez WHO. Opracowanie to, jako cechy modelu medycznego niepełnosprawności akcentuje jego indywidualny i osobisty charakter dotyczący konkretną osobę. Celem działania profesjonalistów ma być leczenie osoby i przywrócenie jej sprawności. Narzędziem jest tu system opieki zdrowotnej. Model społeczny akcentuje zewnątrz wobec konkretnej osoby przyczyny niepełnosprawności. Przyczynami takimi mogą być bariery architektoniczne, w komunikacji, bariery organizacyjne czy praktyki dyskryminacyjne istniejące w społeczeństwie. Narzędziem zmiany są działania społeczne, prowadzone nie tylko przez wąską grupę medycznych profesjonalistów, ale w wymiarze zdecydowanie szerszym tj. społecznym, politycznym i prawnym. ICF łączy te dwa modele uwzględniając biologiczne, psychologiczne i społeczne uwarunkowania funkcjonowania osób niepełnosprawnych [4]. Społeczny model niepełnosprawności wyraża też wprost Konwencja Praw Osób Niepełnosprawnych przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne Organizacji Narodów Zjednoczonych w 2006 r., która mówi że do osób niepełnosprawnych zalicza się osoby z obniżoną sprawnością fizyczną, umysłową, intelektualną lub sensoryczną, która w interakcji z różnymi barierami może ograniczać pełne i efektywne uczestnictwo w życiu społecznym na równych zasadach z innymi obywatelami. Definicja ta ukazuje niepełnosprawność jako problem wywołany przyczynami zewnętrznymi w stosunku do osoby (barierami) i akcentuje równość obywateli w życiu społecznym, ma zatem również charakter anty dyskryminacyjny [5].

Grupa osób niepełnosprawnych w Polsce charakteryzuje się przeciętnie niższym poziomem wykształcenia niż występujący wśród osób sprawnych, wysokim bezrobociem, znacznym poziomem bierności zawodowej oraz utrzymywaniem się ze źródeł niezarobkowych. W 2014 r. tylko 9 % niepełnosprawnych posiadało wykształcenie wyższe, w grupie osób

INTRODUCTION

Disability is an interdisciplinary phenomenon [1]. The concept of disability is closely related to the concept of health. The 1946 Constitution of the World Health Organization (WHO) defined health as the full physical, mental and social well-being of a person, not merely the absence of disease or disability. As it was written in the original text of the constitution adopted by the Polish authorities: "Health is a state of complete physical, mental and social well-being, and not only the absence of disease or disability" [2]. This definition is both established and open, which is reflected in the current expansion of it to include spiritual and sexual health.

Today, there are two models of disability: medical and social. The medical model dictates the definition of disability in the context of the fitness or inability of the human body. Disability is a direct result of disease or damage to the body. The social model of disability recognizes the existence of external barriers limiting people with disabilities from the full use of goods available to non-disabled people [3]. Medical and social models of disability are defined in the WHO International Classification of Functioning Disability and Health (ICF). This study, as a feature of the medical model of disability, emphasizes its individual and personal character that affects a specific person. The goal of professionals is to treat a person and restore his fitness. The tool here is the healthcare system. The social model emphasizes the causes of disability that are external to a specific person. Such causes may be architectural barriers, communication barriers, organizational barriers or discriminatory practices existing in society. The tool of change are social activities, carried out not only by a narrow group of medical professionals, but in a much wider dimension, i.e. social, political and legal. ICF combines these two models, taking into account the biological, psychological and social conditions of the functioning of people with disabilities [4]. The social model of disability is also expressed directly by the Convention on the Rights of Persons with Disabilities adopted by the United Nations General Assembly in 2006, which states that disabled persons include persons with reduced physical, mental, intellectual or sensory fitness, which in interaction with various barriers may have limited participation in society on an equal basis with other citizens. This definition shows disability as a problem caused by factors external to the person (barriers) and emphasizes the equality of citizens in social life, therefore it is also anti-discriminatory [5].

The group of disabled people in Poland is characterized by, on average, a lower level of education than among non-disabled people, high unemployment, a significant level of professional inactivity and living on invalidity pension. In 2014, only 9% of the disabled had higher education, in the group of non-disabled people this percentage was 22%. 30% of disabled people and 33% of non-disabled people had secondary education. In the category of lower secondary and vocational education, the percentage of disabled people is 30% and 31%, respectively, and 24% and 21% of non-disabled people. Relatively low education and the level of professional qualifications to some extent translate into an unfavorable situation on the labor market. The environment of people with disabilities is characterized

sprawnym odsetek ten wynosił 22%. Wykształcenie średnie posiadało 30% osób niepełnosprawnych i 33% osób sprawnych. W kategorii wykształcenia gimnazjalnego i zawodowego odsetek osób niepełnosprawnych wynosi odpowiednio 30% i 31% zaś osób sprawnych 24% i 21%. Stosunkowo niskie wykształcenie i poziom kwalifikacji zawodowych w pewnym stopniu przekładają się na niekorzystną sytuację na rynku pracy. Środowisko osób niepełnosprawnych cechuje się znacznym poziomem bierności zawodowej. Niemal 81% osób niepełnosprawnych jest biernych zawodowo, w grupie osób sprawnych odsetek ten wynosi ok. 41%. Jeszcze większe dysproporcje występują w grupie osób pracujących. Zaledwie 16% osób niepełnosprawnych posiada zatrudnienie, w porównaniu do 52% pracujących osób sprawnych. Dane te dotyczą ogółu populacji osób niepełnosprawnych. W przypadku osób w wieku produkcyjnym wskaźnik aktywności zawodowej wynosi 29% (pracujący i poszukujący pracy) zaś wskaźnik zatrudnienia wynosi 26%. Współczynnik zatrudnienia zależy bezpośrednio od stopnia niepełnosprawności. Najczęściej pracują osoby z niepełnosprawnością w stopniu lekkim (24%) i umiarkowanym (18,3%). Wśród osób posiadających orzeczenie o stopniu znacznym w stosunku pracy pozostaje zaledwie 5% osób. Stopa rejestrowanego bezrobocia osób niepełnosprawnych jest jednak stosunkowo niska i wynosi 10%. Wynika to z faktu, że osoby niepełnosprawne nie rejestrują się jako bezrobotne, w obawie o utratę świadczeń rentowych [6]. Czynniki te wpływają na istotne zagrożenie biedą i trwałym ubóstwem rodzin. Skutkuje to posiadaniem niskiego statusu społecznego, groźbą pogłębiającego się wykluczenia społecznego i ogólnie niską jakością życia. Niedogodności wynikające z niepełnosprawności oddziałują również na utrwalanie się negatywnych postaw społecznych, w tym na niski poziom zaufania osób niepełnosprawnych do społeczeństwa i jego instytucji [7]. Niepełnosprawność powoduje liczne negatywne skutki społeczne.

Problematyka rehabilitacji była i jest przedmiotem licznych badań oraz wdrażania rozwiązań praktycznych. Polska szkoła rehabilitacji, którą rozwijał profesor Wiktor Dega, zakładała łączne prowadzenie rehabilitacji medycznej, społecznej i psychologicznej. Skuteczna rehabilitacja powinna cechować się wczesnym rozpoczęciem, powszechnością, ciągłością i kompleksowością. Model ten wypracowany w latach siedemdziesiątych XX w. zachowuje aktualność i może być skutecznie rozszerzany na sferę rehabilitacji społecznej i zawodowej [8]. Definicję rehabilitacji nawiązującą do zasad wypracowanych przez Degę zawiera ustawa o rehabilitacji zawodowej i społecznej oraz zatrudnieniu osób niepełnosprawnych. W świetle tej ustawy rehabilitacja to zespół działań organizacyjnych, leczniczych, psychologicznych, technicznych, szkoleniowych, edukacyjnych i społecznych. Celem działań jest osiągnięcie przez osobę niepełnosprawną możliwie najwyższego poziomu jej funkcjonowania, jakości życia i integracji społecznej. Podkreśla się tu konieczność aktywnego uczestnictwa osoby niepełnosprawnej w procesie rehabilitacji. Ustawa wyróżnia i definiuje rehabilitację zawodową i społeczną. Celem rehabilitacji zawodowej jest ułatwienie osobie niepełnosprawnej uzyskania i utrzymania odpowiedniego zatrudnienia oraz awansu zawodowego. Cele rehabilitacji zawodowej realizuje się poprzez poradnictwo, szkolenie

by a high level of professional inactivity. Almost 81% of disabled people are economically inactive, while in the group of non-disabled people this percentage is approximately 41%. Even greater disproportions occur in the group of working people. Only 16% of disabled people are employed, compared to 52% of working non-disabled people. These data concern the general population of people with disabilities. In the case of people of working age, the economic activity rate is 29% (working and jobseekers), while the employment rate is 26%. The employment rate directly depends on the degree of disability. Most often, people with mild (24%) and moderate (18.3%) disabilities work, while only 5% of people with a severe degree of disability remain in employment. However, the registered unemployment rate of people with disabilities is relatively low and amounts to 10%. This is due to the fact that disabled people do not register as unemployed for fear of losing their disability benefits [6]. These factors contribute to the significant risk of poverty and permanent poverty of families. This results in a low social status, a threat of deepening social exclusion and a generally low quality of life. The inconveniences resulting from disability also influence the consolidation of negative social attitudes, including the low level of trust of people with disabilities in the society and its institutions [7]. Disability has numerous negative social effects.

The issue of rehabilitation has been the subject of numerous studies and implementation of practical solutions. The Polish rehabilitation school developed by Professor Wiktor Dega assumed the joint medical, social and psychological rehabilitation. Effective rehabilitation should be characterized by early onset, commonness and continuity and comprehensiveness. This model, developed in the 1970s, is up-to-date and can be effectively extended to the sphere of social and vocational rehabilitation [8]. The definition of rehabilitation referring to the principles developed by Dega is included in the Act on Vocational and Social Rehabilitation and Employment of Disabled Persons. In the light of this act, rehabilitation is a set of organizational, therapeutic, psychological, technical, training, educational and social activities. The aim of the activities is for a disabled person to achieve the highest possible level of their functioning, quality of life and social integration. The need for active participation of a disabled person in the rehabilitation process is emphasized here. The Act distinguishes and defines vocational and social rehabilitation. The purpose of vocational rehabilitation is to make it easier for a disabled person to obtain and maintain appropriate employment and career advancement. The goals of vocational rehabilitation are achieved through counseling, training and job placement. The process of vocational rehabilitation should include: work ability assessment, counseling aimed at choosing the optimal employment and training methods, vocational training, preparation of an appropriate workplace, equipping a disabled person with technical means enabling them to perform work [9]. Social rehabilitation is defined as an activity aimed at enabling a disabled person to fully participate in social life. Among the tasks of the local government addressed directly to the disabled is running occupational therapy workshops (WTZ), occupational activity establishments (ZAZ), community self-help homes (ŚDS) and social welfare homes (DPS). WTZ and ZAZ are social and vocational rehabilitation centers.

i pośrednictwo pracy. Proces rehabilitacji zawodowej powinien obejmować: ocenę zdolności do pracy, poradnictwo mające na celu wybór optymalnego zatrudnienia i sposobów przeszkolenia, szkolenia zawodowego, przygotowanie właściwego miejsca pracy, wyposażenie osoby niepełnosprawnej w środki techniczne umożliwiające wykonywanie pracy [9]. Rehabilitacja społeczna jest definiowana jako działanie mające umożliwić osobie niepełnosprawnej pełne uczestnictwo w życiu społecznym. Wśród zadań samorządu adresowanych wprost do osób niepełnosprawnych jest prowadzenie warsztatów terapii zajęciowej (WTZ), zakładów aktywności zawodowej (ZAZ), środowiskowych domów samopomocy (ŚDS) czy domów pomocy społecznej (DPS). WTZ i ZAZ są placówkami rehabilitacji społecznej i zawodowej.

CEL

Celem pracy była analiza realizacja zadań samorządu w zakresie rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych w województwie lubelskim w latach 2008-2017.

MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano dane zgromadzone w latach 2008-2017 przez Regionalny Ośrodek Polityki Społecznej (ROPS) w Lublinie. Ponadto, w grudniu 2017 roku rozesłano drogą mailową do ROPS oraz Urzędów Marszałkowskich w miastach wojewódzkich w Polsce zapytania o zadania oraz sposoby realizowania tych zadań w sferze rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych w latach 2008-2017. Zebrano dostępne dane na temat wydatków z Państwowego Funduszu Rehabilitacji osób Niepełnosprawnych (PFRON). Materiał badawczy opracowano statystycznie za pomocą pakietów statystycznych IBM SPSS Statistics (v. 25) oraz Statistica (v.13).

WYNIKI

Zadania w dziedzinie rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych w województwie lubelskim realizuje ROPS w Lublinie. Zestawienie wydatków na rehabilitację społeczną i zawodową osób niepełnosprawnych samorządu województwa lubelskiego w latach 2008-2017 przedstawiono w tabeli 1 (Tab.1.). Natomiast zestawieni wydatków na rehabilitację społeczną i zawodową osób niepełnosprawnych wszystkich województw Polski w latach 2008-2017 przedstawiono w tabeli 2 (Tab.2.). Wydatki z PFRON na rehabilitację społeczną i zawodową w 16 województwach Polski w latach 2008-2017 przedstawiono na Rycinie 1. (Ryc. 1.). W tabeli 3. (Tab. 3) przedstawiono zestawienie wydatków na wszystkie zadania województw związane z rehabilitacją osób niepełnosprawnych w latach 2008-2017 w ujęciu procentowym.

OBJECTIVE

The aim of the study was to analyze the implementation of local government tasks in the field of social and vocational rehabilitation of people with disabilities in the Lubelskie Voivodeship in 2008-2017.

MATERIALS AND METHODS

The work uses data collected in 2008-2017 by the Regional Center for Social Policy (ROPS) in Lublin. In addition, in December 2017, they were sent by e-mail to ROPS and Marshal's Offices

in voivodship cities in Poland, inquiries about tasks and ways of implementing these tasks in the field of social and vocational rehabilitation of disabled people in 2008-2017. The available data on expenditure from the State Fund for Rehabilitation of the Disabled (PFRON) was collected. The research material was statistically developed using the IBM SPSS Statistics (v. 25) and Statistica (v. 13) statistical packages.

RESULTS

The tasks in the field of social and vocational rehabilitation of the disabled are implemented by ROPS in Lublin in the Lubelskie Voivodeship. Table 1 (Tab. 1) presents a summary of expenditure on social and vocational rehabilitation of the disabled of the self-government of the Lubelskie Voivodeship in 2008-2017. The expenditure on social and vocational rehabilitation of disabled people from all Polish voivodships in 2008-2017 is presented in Table 2 (Table 2). Expenditure from PFRON on social and vocational rehabilitation in 16 voivodships of Poland in 2008-2017 is presented in Figure 1. (Figure 1.). Table 3 (Tab. 3) presents the expenditures on all voivodship tasks related to the rehabilitation of disabled people in 2008-2017.

Tab. 1

Summary of expenditure on social and vocational rehabilitation of the disabled (ON) of the self-government of the Lubelskie Voivodeship in 2008-2017.

Zestawienie wydatków na rehabilitację społeczną i zawodową osób niepełnosprawnych (ON) samorządu województwa lubelskiego w latach 2008-2017.

Years	Means (PLN))	Expenses on functioning of ZAZ (PLN)	Number of ON in a ZAZ	Expenses on investments (PLN)	Number of investments	'Soft' projects (PLN)	Number of contracts
2008	6 590 826.00	1 274 672.00	69.00	4 607 937.00	9	708 216.00	29
2009	5 304 157.00	2 681 068.00	145.00	2 183 089.00	7	440 000.00	41
2010	5 250 376.00	3 200 500.00	173.00	1 449 876.00	5	600 000.00	45
2011	8 982 419.00	4 389 256.00	174.00	2 212 021.00	6	2 381 142.00	117
2012	6 027 030.00	3 808 569.00	176.00	1 490 479.00	5	726 982.00	70
2013	8 280 294.00	3 256 000.00	176.00	3 259 592.00	12	1 764 703.00	158
2014	8 400 586.00	3 256 000.00	176.00	4 584 121.00	11	560 465.00	53
2015	8 740 412.00	3 922 000.00	212.00	1 919 006.00	10	2 899 406.00	141
2016	9 158 243.00	4 624 500.00	237.00	967 600.00	5	3 566 143.00	153
2017	8 795 616.00	4 727 150.00	247.00	2 834 983.00	8	1 233 483.00	56
TOTAL	75 529 959.00	35 139 715.00		25 508 704.00	78	14 880 540.00	863

Tab. 2

Summary of expenditure on social and vocational rehabilitation of the disabled people from all voivodship self-governments in 2008-2017.

Zestawienie wydatków na rehabilitację społeczną i zawodową osób niepełnosprawnych wszystkich samorządów województ w latach 2008 – 2017.

Total (16 voivodships)						
Years 2008-2017	N	M	SD	Min	Max	Suma
Means	160	7576718.9	3806435.6	1307923.0	17571852.0	1212275030.0
Investments [PLN]	160	2751896.7	1949152.3	0.0	9731660.0	440303468.0
Investmemnts- numer of constructions	160	10.3	6.8	0.0	38.0	1655.0
Investmemnts in ZAZ [PLN]	160	319511.5	759848.0	0.0	3988027.0	51121837.0
Investments in ZAZ - numer of ZAZ	160	0.4	0.7	0.0	4.0	64.0
Functioning of ZAZ [PLN]]	160	3519533.8	2525121.5	0.0	10970548.0	563125405.0
NGO [PLN]	144	843404.1	924599.7	0.0	5420402.0	121450193.0
NGO-number of contracts	143	43.7	38.6	0.0	223.0	6248.0

N- numer of years analyzed x 16 (liczba województw); M – mean, SD – standard deviation; Min – minimum; Max – maximum.

N- liczba lat wziętych pod uwagę x 16 (liczba województw); M – średnia, SD – odchylenie standardowe; Min – wartość minimalna; Max – wartość maksymalna.

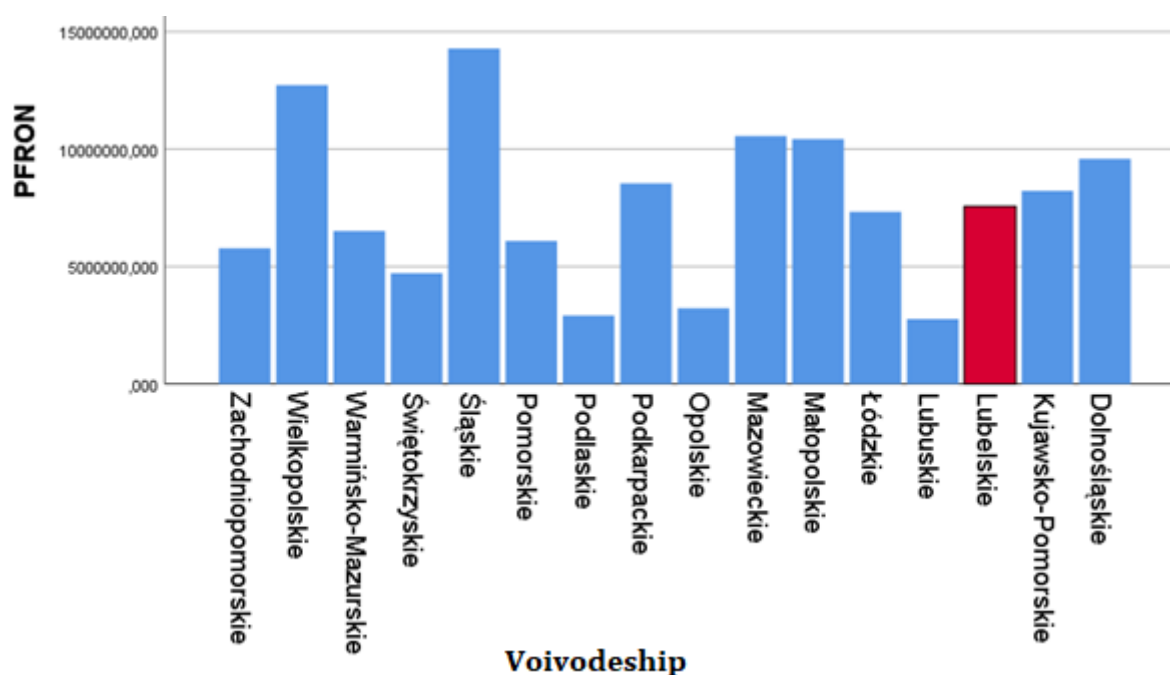


Fig. 1 Expenditure from PFRON on social and vocational rehabilitation in 16 voivodeships of Poland in 2008-2017.

Rys. 1 Wydatki z PFRON na rehabilitację społeczną i zawodową w 16 województwach Polski w latach 2008-2017.

Tab. 3

List of expenditure on all tasks related to the rehabilitation of disabled people (ON) in 16 voivodships in 2008-2017[%].

Zestawienie wydatków na wszystkie zadania związane z rehabilitacją osób niepełnosprawnych (ON) 16 województw w latach 2008-2017 w ujęciu procentowym.

Voivodship	Co-financing of construction works in rehabilitation facilities in%	Co-financing of the costs of ZAZ [%]	Co-financing of the operating costs of ZAZ [%]	Tasks in the field of vocational rehabilitation and social activities, ON commissioned to foundations and non-governmental organizations [%]
Zachodniopomorskie	38.4%	1.7%	52.6%	5.5%
Wielkopolskie	13.7%	3.3%	64.1%	15.7%
Warmińsko-Mazurskie	47%	2.8%	46.4%	2.9%
Świętokrzyskie	27.7%	1.1%	53.3%	11.4%
Śląskie	44.1%	5.9%	49.9%	0%
Pomorskie	51.6%	0%	34.8%	12.2%
Podlaskie	66.6%	1.4%	20.6%	9.8%
Podkarpackie	21.7%	1.5%	70.2%	4.5%
Opolskie	10.5%	0%	59.5%	28.9%
Mazowieckie	36.6%	1.1%	35.0%	19.2%
Małopolskie	53.3%	0.9%	36.0%	8.2%
Łódzkie	49.0%	0.4%	30.4%	10.7%
Lubuskie	67.3%	8.7%	1.5%	22.2%
Lubelskie	23.8%	7.3%	47.9%	17.7%
Kujawsko-Pomorskie	18.5%	21.8%	55.9%	3.8%
Dolnośląskie	41.2%	5.4%	40.2%	8.3%

DYSKUSJA

Rehabilitacja to zespół działań organizacyjnych, leczniczych, psychologicznych, technicznych, szkoleniowych, edukacyjnych i społecznych. Celem działań jest osiągnięcie przez osobę niepełnosprawną możliwie najwyższego poziomu jej funkcjonowania, jakości życia i integracji społecznej. W procesie rehabilitacji, szczególnie zawodowej, podkreślana jest konieczność aktywnego uczestnictwa osoby niepełnosprawnej [9]. Historycznie rehabilitacja dotyczyła pierwotnie żołnierzy rannych w konfliktach zbrojnych, by przywrócić ich społeczeństwu i zwiększyć liczbę mężczyzn zdolnych do pracy. Działo się tak w wiekach, gdy epidemie chorób zakaźnych i wojny systematycznie redukowały liczbę obywateli wielu krajów. Już w 1919 roku *The New England Journal of Medicine* pisał o potrzebie nie tylko leczenia ran zadanych żołnierzom, lecz także o tym, że po powrocie do domu należy uczyć ich nowego zawodu, w którym, mimo kalectwa, byłoby zdolni zarobić na godziwe utrzymanie [10].

W 1917 roku powstał w Nowym Jorku pod patronatem czerwonego krzyża *The Red Cross Institute for Crippled and Disabled Men*. Już na początku istnienia tej instytucji spostrzeżono potrzebę nauczania nowego zawodu nie tylko okaleczonych weteranów wojennych, lecz także mężczyzn, którzy ulegli wypadkom wykonując inne prace w przemyśle. Wówczas szacowano, że rocznie wypadkom przy pracy ulegało w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej 80 000 mężczyzn [10]. O ile pierwsze szpitale były fundowane przez zamożnych donatorów i utrzymywane dzięki zbiórkom społecznym i pracy wolontariuszy oraz organizacji *non profit*, o tyle z czasem do systemu ochrony zdrowia, w tym do rehabilitacji, wkroczyła działalność czysto komercyjna. Każda procedura ma obecnie swoją cenę. Osoby wykonujące te procedury ponoszą za nie odpowiedzialność i oczekują za to zapłaty. Nikt nie świadczy, lub tylko nieliczni, usług medycznych/rehabilitacyjnych *pro bono*. Wykonywanie działalności wiąże się ze znaczną odpowiedzialnością i osobistym ryzykiem. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej 75% lekarzy w swej karierze zawodowej przynajmniej raz jest pozywanych z powodu podejrzenia błędu w sztuce [11]. Rosną więc koszty procedur medycznych oraz koszty ubezpieczeń. Zaś osoby z niepełnosprawnością przekonane są o tym, że te procedury są im należne. Nakręca to spiralę zależności ekonomicznych. Skoro nie ma już bogatych sponsorów, system ochrony zdrowia musi planować środki w budżecie na te procedury. Już w 1980 roku Relman zauważył nasilającą się komercjalizację sektora medycznego i dążenie do kosztownych technologii i drogich leków, na które nie stać osób niepełnosprawnych i nieubezpieczonych [12].

W 1990 roku prezydent w Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej George Bush podpisał *The Americans with Disabilities Act*. W 2015 roku *The New England Journal of Medicine* opublikował podsumowanie 25-letniego funkcjonowania tego dokumentu, którego założeniami były: równy dostęp, pełne uczestnictwo w życiu społecznym, niezależne mieszkanie oraz samowystarczalność ekonomiczna osób niepełnosprawnych. Autorzy raportu zauważają, że w przestrzeni publicznej pojawiły się przejścia przez jezdnię z niskimi krawężnikami dla osób na wózkach

DISCUSSION

Rehabilitation is a set of organizational, therapeutic, psychological, technical, training, educational and social activities. The aim of the activities is for a disabled person to achieve the highest possible level of their functioning, quality of life and social integration. In the process of rehabilitation, especially vocational, the need for active participation of a disabled person is emphasized [9]. Historically, rehabilitation was originally about soldiers wounded in armed conflicts to restore them to society and increase the number of men fit for work. It happened for centuries when epidemics of infectious diseases and wars systematically reduced the number of citizens in many countries. As early as 1919, *The New England Journal of Medicine* wrote about the need not only to heal wounds inflicted on soldiers, but also about the need to teach them a new profession after returning home, in which, despite their disability, they would be able to earn a decent living [10].

In 1917, it was founded in New York under the patronage of the Red Cross Institute for Crippled and Disabled Men. From the very beginning of the institution's existence, the need to teach a new profession not only to crippled war veterans, but also to men who suffered accidents while performing other industrial jobs was noticed. At that time, it was estimated that 80,000 men in the United States of America suffered accidents at work each year [10]. While the first hospitals were funded by wealthy donors and maintained thanks to social fundraising and the work of volunteers and non-profit organizations, with time purely commercial activities entered the health care system, including rehabilitation. Each procedure now comes at a cost. The persons performing these procedures are responsible for them and expect payment for this. Nobody provides *pro bono* medical / rehabilitation services, or only a few. Carrying out activities involves considerable responsibility and personal risk. In the United States of America, 75% of physicians are sued at least once in their careers due to suspected malpractice [11]. Thus, the costs of medical procedures and insurance costs are rising. And people with disabilities are convinced that these procedures are due to them. This is driving a spiral of economic dependence. Since there are no more rich sponsors, the health care system has to budget for these procedures.

In 1980, Relman noticed the increasing commercialization of the medical sector and the drive towards expensive technologies and expensive drugs that people with disabilities could not afford and the uninsured [12]. In 1990, the president of the United States of America, George Bush, signed *The Americans with Disabilities Act*. In 2015, *The New England Journal of Medicine* published a summary of the 25-year operation of this document, the assumptions of which were: equal access, full participation in social life, independent housing and economic self-sufficiency of people with disabilities. The authors of the report note that crossings have appeared in the public space with low curbs for wheelchair users, sound signals in addition to light signals for the visually impaired, numerous architectural barriers in public buildings were eliminated, but all four postulates of the act could not be implemented. Currently, 56.7 million Americans live with disabilities (8.4% of children under the age of 15 and as much as 70.5% of

inwalidzkich, sygnały dźwiękowe oprócz świetlnych dla niewidzących, zlikwidowano liczne bariery architektoniczne w budynkach użyteczności publicznej, lecz wszystkich czterech postulatów aktu nie udało się zrealizować. Obecnie 56,7 milionów Amerykanów żyje z niepełnosprawnością (8,4% dzieci do 15 roku życia i aż 70,5% osób po 80 roku życia). Odsetek niepełnosprawnych jest ponad dwukrotnie wyższy wśród bezrobotnych niż pracujących (33,5% vs 12,6%). Znacznie więcej kobiet niż mężczyzn żyje z niepełnosprawnością (24,4% vs 19,8%). Nasilenie zjawiska niepełnosprawności w tych grupach społecznych obserwowani jest również w Europie i Polsce. Przyczyn tego stanu autorzy upatrują w częstoci występowania chorób przewlekłych (cukrzyca, zwyrodnienia stawów) oraz w nowoczesnych interwencjach medycznych podtrzymujących życie wcześniakom oraz dzieciom urodzonym w poważnymi wadami (rozszczepem kręgosłupa, wrodzonymi wadami serca) [13].

Autorzy zauważają, że osoby niepełnosprawne mają trudności z realizacją badań wynikających z powszechnych programów profilaktycznych: mammografii i cytologii w przypadku kobiet, corocznych wizyt u dentysty, częściej palą tytoń, są otyłe, mają nadciśnienie tętnicze i problemy emocjonalne częściej niż osoby bez niepełnosprawności [13]. USA, mimo najwyższych na świecie nakładów na procedury medyczne i rehabilitacyjne nie osiągnęły wskaźników najwyższej jakości życia ani najdłuższego czasu przeżycia wśród krajów rozwiniętych. Wiąże się to z nierównościami w dostępie do procedur medycznych oraz niedostatecznymi nakładami na profilaktykę w porównaniu do lecznictwa.

W 2011r. WHO i Bank Światowy opublikowały raport dotyczący niepełnosprawności na świecie. Podkreślono w nim, że istnieją ogromne różnice w dostępności do rehabilitacji między krajami rozwiniętymi a rozwijającymi się [14]. Zauważono także, że nie wszystkie procedury nazywane rehabilitacyjnymi mają potwierdzenie w medycynie opartej na faktach, czyli że brak jest randomizowanych badań potwierdzających ich skuteczność tak, jak to się robi w przypadku wprowadzania na rynek nowych leków, czy wprowadzeniu do praktyki lekarskiej zabiegów operacyjnych. Baza *The Physiotherapy Evidence Database* zawiera wyniki blisko 20 000 badań klinicznych, z których większość jest niewłaściwie zaprojektowana, obejmowała bardzo nieliczne grupy pacjentów i nie dostarczyła dowodów na swoją skuteczność [15].

The New England Journal of Medicine w 2013 roku opublikował raport na temat urazów i ich następstw na świecie. Odnotowano, że w 2010 roku 5,1 miliona ludzi na świecie zmarło w wyniku urazów. Oznacza to, że 10% zgonów w skali świata następowało wskutek odniesionych urazów. Liczba ta przewyższa sumę zgonów z powodu najgroźniejszych chorób zakaźnych (HIV-AIDs, gruźlica i malarii razem wziętych), które w tym czasie przyczyniły się do 3,8 milionów zgonów na świecie. Odnotowano także kolejny istotny fakt: w krajach rozwiniętych, gdzie są wysokie nakłady na ratownictwo, lecznictwo oraz rehabilitację, zgon wskutek odniesionych urazów dotyczy 6% ofiar, zaś w krajach rozwijających się, o niskich nakładach na ratownictwo, lecznictwo i rehabilitację aż 89% osób, które doznały urazu, zmarło. Podkreślono, że wskutek odniesionych urazów i późniejszej niepełnosprawności rośnie koszt ekonomiczny i społeczny urazów, co wyraża się między innymi jako *Disability- Adjusted Life -Years* (DALY).

those aged 80 and over). The percentage of the disabled is more than twice as high among the unemployed than among the employed (33.5% vs 12.6%). Significantly more women than men live with disabilities (24.4% vs 19.8%). The severity of the phenomenon of disability in these social groups is also observed in Europe and Poland. The authors see the causes of this condition in the prevalence of chronic diseases (diabetes, arthrosis) and in modern medical interventions that support the life of premature babies and children born with serious malformations (spina bifida, congenital heart defects) [13]. The authors note that people with disabilities have difficulties in carrying out tests resulting from common prevention programs: mammography and cytology in the case of women, annual visits to

the dentist, smoke tobacco more often, are obese, have hypertension and emotional problems more often than people without disabilities [13]. The USA, despite the world's highest expenditures on medical and rehabilitation procedures, has not achieved the highest quality of life indicators or the longest survival time among developed countries. It is related to inequalities in access to medical procedures and insufficient expenditure on prevention compared to healing.

In 2011. WHO and the World Bank have published a report on disability in the world. It emphasized that there are huge differences in access to rehabilitation between developed and developing countries [14]. It was also noticed that not all procedures called rehabilitation are confirmed in evidence-based medicine, i.e. that there are no randomized studies confirming their effectiveness, as is the case when new drugs are introduced to the market or surgical procedures are introduced into medical practice. The Physiotherapy Evidence Database contains the results of nearly 20,000 clinical trials, most of which are inappropriately designed, covered very few groups of patients and did not provide evidence of their effectiveness [15].

The New England Journal of Medicine in 2013 published a report on injuries and their consequences around the world. In 2010, it was reported that 5.1 million people worldwide died as a result of injuries. This means that 10% of deaths worldwide were caused by injuries. This number is greater than the sum of deaths from the most serious infectious diseases (HIV-AIDs, tuberculosis and malaria taken together) that contributed to 3.8 million deaths worldwide during this time. Another important fact was also noted: in developed countries, where there are high expenditures on rescue, treatment and rehabilitation, death as a result of injuries affects 6% of victims, and in developing countries, with low expenditures on rescue, treatment and rehabilitation, as many as 89% of people, who were injured died. It was emphasized that as a result of injuries and subsequent disability, the economic and social cost of injuries increases, which is expressed, inter alia, as Disability-Adjusted Life-Years (DALY). Men are more likely to be injured, especially between the ages of 10 and 24.

Sustained injuries dominate among unintentional injuries in traffic accidents (and there are more of them, the poorer the country, worse roads, worse quality cars), and among self-harm there are suicides and suicide attempts (which are the highest in developed countries) [16]. No wonder that the Ministry of Loneliness was established in 2017 in the UK. If this avoids the depressive disorder of citizens and their most severe form of suicide attempts, it will be an idea to

Urazów częściej doznają mężczyźni, szczególnie w wieku 10-24 lat.

Wśród urazów niezamierzonych dominują urazy doznane w wypadkach komunikacyjnych (i jest ich tym więcej, im biedniejszy kraj, gorsze drogi, gorszej jakości auta), zaś wśród samoszkodzeń samobójstwa i próby samobójcze (których jest najwięcej w krajach wysoko rozwiniętych) [16]. Nic dziwnego, że w Wielkiej Brytanii w 2017 roku powołano do życia Ministerstwo do spraw Samotności. Jeśli zapobiegnie to zaburzeniom depresyjnym obywateli oraz ich najcięższej formie w postaci prób samobójczych, to będzie to pomysł do naśladowania w innych krajach. Obecnie ponad połowa ludności świata mieszka w miastach. Wysoki wskaźnik urbanizacji zwiększa ryzyko zaburzeń depresyjnych oraz poczucia izolacji wśród obywateli, a także rozwarstwienia na biednych i bogatych o niejednakowym dostępie do procedur medycznych. Wszystkie kraje cywilizowane próbują zapewnić swoim obywatelom z niepełnosprawnością dostęp do leczenia i rehabilitacji. Jej koszty są coraz większe i nawet najbogatsze kraje nie zawsze dobrze sobie radzą z zaspokajaniem potrzeb obywateli w tej mierze. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej szacuje się, że wydatki na ochronę zdrowia wzrosną z 18% do 25% produktu krajowego brutto do 2037 roku [11].

Polskie prace w sferze rehabilitacji leczniczej, ale także zawodowej i społecznej od dawna lokują nasz kraj w gronie państw rozwiniętych. Dotyczy to zarówno sfery naukowej, praktycznej jak i prawnej. Polska szkoła rehabilitacji (polski model rehabilitacji) stworzona przez poznańskiego ortopedę profesora Wiktora Degę wyrosła na znanej także w innych państwach potrzebie rehabilitacji ofiar II Wojny Światowej. Poza nowatorskimi aspektami medycznymi model ten zakładał szeroki podejście do rehabilitacji, również w sferze psychologicznej pacjenta i w sferze zawodowej. Widoczne są tu wyraźnie wpływy przywołanej wcześniej myśli amerykańskiej dotyczącej rehabilitacji weteranów wojennych rozwijanej w USA przez dr Howarda Ruska.

W Polsce profesor Dega napotkał daleko poważniejsze wyzwania, bowiem problemem inwalidztwa spowodowanego działaniami wojennymi dotkniętych było statystycznie znacznie więcej ludzi, w tym przede wszystkim cywilów, również dzieci, niż w innych krajach. Następstwa wojny odczuwalne były długo po jej zakończeniu np. z powodu licznych eksplozji wojennych pozostałości - min, niewypałów i niewybuchów [17]. Podobnie jak w krajach rozwiniętych, również w Polsce zmieniają się przyczyny powstawania niepełnosprawności. Poważnym problemem stają się choroby cywilizacyjne, wypadki komunikacyjne i przy pracy, oraz paradoksalnie postępy medycyny powodujące zwiększenie przeżywalności osób po urazach oraz noworodków przychodzących na świat z poważnymi deficytami.

Sfera finansowania usług medycznych, około medycznych oraz rehabilitacji społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych jest zagadnieniem gdzie obserwujemy znaczne słabości polskiego systemu. Nakłady na tę sferę są w Polsce zdecydowanie niższe, niż średnia w krajach Unii Europejskiej (UE). Dotyczy to zarówno wydatków ściśle medycznych, jak i pozamedycznych należących do sfery socjalnej wykonywanej przez państwo opiekuńcze. Jest to ściśle związane z poziomem rozwoju gospodarczego państw, im większy produkt krajowy brutto tym większe wydatki

follow in other countries. Today, more than half of the world's population lives in cities. A high rate of urbanization increases the risk of depressive disorders and a sense of isolation among citizens, as well as stratification into poor and rich about unequal access to medical procedures. All civilized countries are trying to ensure access to treatment and rehabilitation for their citizens with disabilities. Its costs are increasing and even the richest countries are not always doing well with meeting the needs of citizens in this respect. In the United States of America, it is estimated that health care spending will increase from 18% to 25% of gross domestic product by 2037 [11].

Polish works in the field of therapeutic, but also professional and social rehabilitation have placed our country among developed countries for a long time. This applies to both the scientific, practical and legal spheres. The Polish rehabilitation school (the Polish model of rehabilitation) created by the Poznań orthopedist, Professor Wiktor Dega, grew out of the need for rehabilitation of victims of the Second World War, also known in other countries. In addition to innovative medical aspects, the tan model assumed a broad approach to rehabilitation, also in the psychological sphere of the patient and in the professional sphere. The influences of the previously mentioned American thought regarding the rehabilitation of war veterans developed in the USA by Dr. Howard Ruska. In Poland, professor Dega encountered much more serious challenges, as statistically many more people, including mainly civilians, including children, were affected by the problem of disability caused by hostilities than in other countries. The consequences of the war were felt long after its end, e.g. due to numerous explosions of war remains - mines, misfires and unexploded bombs [17].

As in developed countries, also in Poland the causes of disability are changing. Civilization diseases, traffic accidents and work accidents are becoming a serious problem, and paradoxically, advances in medicine, which increase the survival rate of people after injuries and newborns coming into the world with serious deficits. The sphere of financing medical services, related to medical and social rehabilitation and occupational problems of people with disabilities is an issue where we observe significant weaknesses of the Polish system. Expenditures in this area in Poland are much lower than the average in the European Union (EU) countries. This applies to both strictly medical expenses and non-medical services belonging to the social sphere provided by the welfare state. It is closely related to the level of economic development of countries, the higher the gross domestic product, the greater the medical and social expenses [18]. Medical procedures, including therapeutic rehabilitation, are only a starting point for restoring a disabled person to the highest possible quality of life, which includes health, family, social, professional and emotional aspects, the possibility of fulfilling personal aspirations and eliminating barriers that make it difficult. The next steps of rehabilitation are social rehabilitation and vocational rehabilitation being the last stage of rehabilitation procedures [17].

In the 1970s and 1980s, when Poland was implementing the utopian program of 'full employment', including people with disabilities, and in Great Britain, a policy of pushing people with disabilities out of the labor market was being pursued more or less on purpose, in Germany completely different means. The 1970s were

medyczne i socjalne [18]. Procedury medyczne, w tym rehabilitacja lecznicza, są zaledwie punktem wyjścia do przywrócenia osobie niepełnosprawnej możliwie wysokiej jakości życia, na którą składają się również ważne, co do zdrowia, aspekty rodzinne, społeczne, zawodowe, emocjonalne, możliwość realizacji osobistych aspiracji i niwelowanie barier to utrudniających. Kolejnymi krokami rehabilitacji są rehabilitacja społeczna i rehabilitacja zawodowa będąca ostatnim etapem procedur rehabilitacyjnych [17].

W latach '70 i '80 XX wieku, w czasie gdy w Polsce realizowano utopijny program „pełnego zatrudnienia”, w tym osób niepełnosprawnych, zaś w Wielkiej Brytanii mniej lub bardziej celowo prowadzono politykę wypychania osób niepełnosprawnych z rynku pracy, w Niemczech zastosowano zupełnie inne środki. Lata '70 XX wieku były okresem kryzysu w zatrudnienia osób niepełnosprawnych w Niemczech. Od tamtego czasu niemiecka polityka społeczna opiera się na idei pełnej partycypacji osób niepełnosprawnych w życiu społecznym, w tym w życiu zawodowym. Dlatego w pierwszej kolejności realizowane są tam działania o charakterze aktywizacyjnym. Działania o charakterze pasywnym, zasiłkowym, rentowym są realizowane w drugiej kolejności, wyłącznie w przypadkach, gdy zaplanowana i zrealizowana rehabilitacja nie odnosi pozytywnych skutków. Podstawową formą aktywizacji jest rehabilitacja zawodowa, prowadzona w różnych praktycznych formach. Do głównych form rehabilitacji należy zatrudnienie wspomagane oraz warsztaty i centra aktywności zawodowej. W przypadku osób korzystających z tych form rehabilitacji, jej skuteczność mierzona wejściem na rynek pracy wynosi 70% [19].

Koszty rehabilitacji rozumiane są nie tylko jako konieczność wypłaty świadczeń finansowych i wykonywania usług na rzecz osób niepełnosprawnych, ale też koszty polegające na utracie korzyści wynikających z braku aktywności społecznej i zawodowej osób niepełnosprawnych i ich rodzin. Celem wszystkich omawianych systemów jest wprowadzanie i utrzymanie osób niepełnosprawnych na rynek pracy, maksymalne usamodzielnienie i odciążenie rodzin oraz oszczędności w systemach socjalnych. Co ciekawe część polskich instytucji (ZAZ) została skopiowana niemal w 100 % ze wzorców niemieckich. Pozostaje więc otwartym pytaniem dlaczego podobne instytucje w Niemczech mogą pochwalić się tym, że 70% rehabilitowanych osób niepełnosprawnych znajduje zatrudnienie, zaś w polskich warunkach współczynnik ten jest bliski zeru.

Do zadań samorządu województwa wykonywanych w sferze rehabilitacji należą:

- opracowanie i realizacja wojewódzkich programów dotyczących wyrównywania szans osób niepełnosprawnych i przeciwdziałania ich wykluczeniu społecznemu oraz pomocy w realizacji zadań na rzecz zatrudniania osób niepełnosprawnych;
- opracowywanie i przedstawianie Pełnomocnikowi Rządu ds. Osób Niepełnosprawnych informacji o prowadzonej działalności;
- dofinansowanie robót budowlanych obiektów służących rehabilitacji, w związku z potrzebami osób niepełnosprawnych;
- dofinansowanie kosztów tworzenia i działania ZAZ;

a period of crisis in the employment of disabled people in Germany. Since then, German social policy has been based on the idea of full participation of disabled people in social life, including professional life. Therefore, in the first place, activating activities are carried out there. Passive, benefit or disability activities are implemented in the second place, only when planned and the implemented rehabilitation does not bring any positive effects. The basic form of activation is vocational rehabilitation, carried out in various practical forms. The main forms of rehabilitation are Supported Employment, Workshops and Workshops. In the case of people using these forms of rehabilitation, its effectiveness, measured by entering the labor market, is 70% [19].

Rehabilitation costs are understood not only as the necessity to pay financial benefits and provide services to disabled people, but also costs consisting in the loss of benefits resulting from social and professional inactivity of disabled people and their families. The aim of all the systems under discussion is to introduce and maintain disabled people to the labor market, and to achieve maximum independence and relieving families and savings in social systems. Interestingly, some Polish institutions (ZAZ) were almost 100% copied from German patterns. Therefore, the question remains why similar institutions in Germany can boast that 70% of rehabilitated disabled people find employment, while in Polish conditions this ratio is close to zero.

The tasks of the voivodeship self-government performed in the field of rehabilitation include:

- development and implementation of voivodship programs on equalizing opportunities for disabled people and counteracting their social exclusion, as well as helping in the implementation of tasks for the employment of disabled people;
- preparing and presenting information about the conducted activity to the Government Plenipotentiary for Disabled People;
- co-financing of construction works of rehabilitation facilities, in connection with the needs of the disabled;
- co-financing the costs of creating and operating the ZAZ;
- cooperation with government administration bodies as well as poviats and communes in the implementation of tasks under the Act;
- cooperation with non-governmental organizations and foundations acting for the benefit of the disabled;
- issuing opinions on the application for entry in the register of centers accepting groups of rehabilitation camps, kept by the locally competent voivode;
- subsidizing tasks carried out by non-governmental organizations (soft projects).

ROPS in Lublin carries out about 150 projects annually, the value of which ranges from several thousand to one million zlotys. The analysis of almost a thousand projects shows that the activity of local governments and non-governmental organizations from individual counties varies greatly. In all areas, there are clear leaders in project implementation, as well as poviats in which the activity of administration and non-governmental organizations is close to zero or does not occur. The city of Lublin (local government and non-governmental organizations) shows the greatest dynamics in obtaining funds and carrying out tasks in the

- współpraca z organami administracji rządowej oraz powiatami i gminami w realizacji zadań wynikających z ustawy;
- współpraca z organizacjami pozarządowymi i fundacjami działającymi na rzecz osób niepełnosprawnych;
- opiniowanie wniosku o wpis do rejestru ośrodków przyjmujących grupy turnusów rehabilitacyjnych, prowadzonego przez właściwego miejscowo wojewodę;
- dotowanie zadań realizowanych przez organizacje pozarządowe (projekty miękkie).

ROPS w Lublinie realizuje rocznie około 150 projektów, których wartość waha się od kilku tysięcy do miliona złotych. Analiza niemal tysiąca projektów pozwala stwierdzić, że aktywność samorządów i organizacji pozarządowych z poszczególnych powiatów jest bardzo zróżnicowana. We wszystkich dziedzinach widać wyraźnych liderów w realizacji projektów, jak i powiaty w których aktywność administracji i organizacji pozarządowych jest bliska zeru lub nie występuje. Miasto Lublin (samorząd i organizacje pozarządowe) wykazuje największą dynamikę w pozyskiwaniu środków i realizacji zadań w całym województwie lubelskim.

WNIOSKI

- W Polsce w zakresie rehabilitacji społeczno - zawodowej i zatrudniania osób niepełnosprawnych stosuje się rozwiązania zbliżone do wypracowanych w państwach zachodniej Europy.
- Koszty finansowania rehabilitacji zawodowej, rozumianej jako finansowanie funkcjonowania zakładów aktywności zawodowej przez samorządy województw stale rosną.
- Rosnące wydatki ponoszone na działalność zakładów aktywności zawodowej nie poprawiają w znaczącym stopniu sytuacji związanej z rehabilitacją zawodową i zatrudnianiem osób niepełnosprawnych.
- Usprawnianie działania systemu rehabilitacji zawodowej i społecznej osób niepełnosprawnych nie powinno polegać wyłącznie na zwiększaniu środków finansowych wydatkowanych w ramach obecnego mało wydolnego systemu, ale powinno być poprzedzone gruntowną analizą stanu obecnego i wypracowaniem szerokich zmian organizacyjnych.

REFERENCES

1. Giełda M, Raszewska-Skałecka R., Prawno administracyjne aspekty sytuacji osób niepełnosprawnych w Polsce Uniwersytet Wrocławski Wrocław 2015 s. 20
2. Dz. U. 1948, nr 61, poz. 477.
3. Kurowski K., Wolności i prawa człowieka i obywatela z perspektywy osób niepełnosprawnych. Rzecznik Praw Obywatelskich. Warszawa 2014:14.
4. Międzynarodowa Klasyfikacja Funkcjonowania Niepełnosprawności i Zdrowia International classification of functioning, disability and health, ICF Światowa Organizacja Zdrowia 2001.
5. Piasecki M. (Red.) Osoby niepełnosprawne na wagę konwencji ONZ Fundacja Fuga Mundi Lublin 2012:16.
6. Badanie potrzeb osób niepełnosprawnych. Raport końcowy. Państwowy Fundusz Rehabilitacji Osób Niepełnosprawnych Warszawa 2017.
7. Bartkowski, J. Gąciarz, B. Położenie społeczno-ekonomiczne niepełnosprawnych w Polsce na tle sytuacji osób niepełnosprawnych w krajach UE i EOG. Niepełnosprawność - Zagadnienia, Problemy, Rozwiązania II, Państwowy Fundusz Rehabilitacji Osób Niepełnosprawnych, Warszawa 2014: 20–43.
8. Karwat I., Skwarcz A. Rehabilitacja medyczna – jej cele, założenia i znaczenie praktyczne Postępy Nauk Medycznych, 2000;3:61-69.
9. Art. 8 ustawa z dnia 27 sierpnia 1997 r. o rehabilitacji zawodowej i społecznej osób niepełnosprawnych Dz.U. z 2016 r. poz. 2046.

entire Lubelskie Voivodeship.

CONCLUSIONS

- In Poland, in the field of social and vocational rehabilitation and employment of disabled people, solutions similar to those already developed are applied in the countries of Western Europe.
- The costs of financing vocational rehabilitation, understood as financing the operation of vocational activity establishments by voivodship self-governments, are constantly growing.
- The growing expenses incurred on the operation of vocational activity establishments do not significantly improve the situation related to vocational rehabilitation and employment of disabled people.
- Improving the operation of the system of vocational and social rehabilitation of disabled people should not only consist in increasing the financial resources spent under the current inefficient system, but should be preceded by a thorough analysis of the current state and the development of extensive organizational changes.



10. Mc Murthie D.C. The work of an American School for the Rehabilitation of the Disabled. NEJM 1919, January 16: 59-64.
11. Emanuel E., Tanden N., Altman S. I wsp. A systemic approach to health care spending. NEJM 2012; 367; 10: 949-954.
12. Shattuck lecture- the health care industry: where is it taking us? Relaman AS. NEJM 1991;19: 854.
13. Peacock G., Iezzoni L., Harkin T.R. Health care for Americans with Disabilities- 25 years after ADA. NEJM 2015; 373 (10): 892-893.
14. World report on disability Geneva: World Health Organization/World Bank 2011 (http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/en/index.html).
15. Physiotherapy Evidence Database (PEDro) home page (<http://www.pedro.org.au>) *(cytowana)*.
16. Norton R., Kobusingye O. Injuries. NEJM 2013; 368 (18): 1723-1730.
17. Lubecki M. Polski model rehabilitacji medycznej zaakceptowany i zalecany przez WHO. Hygeia Public Health 2011, 46(4): 506-515.
18. Sawulski J. Czy Polska jest państwem opiekuńczym? Instytut Badań Strukturalnych Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu IBS Policy Paper 2/2017.
19. Bańczyk P., Eichner M., Pasternak K., Tulaja J. Model aktywizacji zawodowej osób bezrobotnych z różnymi typami niepełnosprawności Ein Modell zur beruflichen Aktivierung von arbeitslosen Menschen mit unterschiedlichen Behinderungsarten Centrum Społecznego Rozwoju, 2015:20 .

Barbara Nieradko-Iwanicka

Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii
Uniwersytet Medyczny w Lublinie
ul. Chodźki 7
20-093 Lublin
e-mail: barbara.nieradko-iwanicka@umlub.pl

