

Nr 3 (76) 2021

ISSN 1734 -7009
e-ISSN 2084 - 0535

wrzesień 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. poczt. 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. Przepisów 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 3(76)

List of content



TECHNOLOGY

L. Sokół, A. Olejnik

Evaluation of the effects of the water-flat-panel illuminator-air optical system on the size of the photographed object p. 7

T. Graczyk

Underwater vehicles in the research work of Szczecin universities – projects p. 21

MEDICINE

A. Żebrowska, P. Siermontowski, R. Mikołajczyk, M. Sikora, O. Łakomy

Evaluation of physiological stress experienced by divers maintaining an upright position on the water surface depending on the buoyancy control device..... p. 35

D. Ubysz, W. Giermaziak, A. Ostrowska

Adverse events during hyperbaric oxygen therapy – literature review..... p. 45

VARIA

G. Henrykowska, K. Kotecka, A. Jabłkowska, A. Buczyński, J. Woźny

Prevalence of anti-HAV IgG antibodies in the population of the Łódź macroregion by age group..... p. 67

P. Bałazy, B. Kontny, J. Różycki, M. Saniewski, D. Puczko, A. Pydyn

Scientific diving in Poland and invitation to the Polish Committee on Scientific Diving..... p. 77

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2021 NUMER 3(76)

Spis treści



TECHNOLOGIA

Ł. Sokół, A. Olejnik

Ocena wpływu układu optycznego woda-iluminator płaskorównoległy-powietrze na wielkość obiektu obfotografowanego..... p. 7

T. Graczyk

Pojazdy podwodne w pracach naukowych uniwersytetu szczecińskiego – projekty..... p. 21

MEDYCINA

A. Żebrowska, P. Siermontowski, R. Mikołajczyk, M. Sikora, O. Łakomy

Ocena obciążenia fizjologicznego nurka podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni w zależności od wykorzystywanego urządzenia ratunkowo – wypornościowego. p. 35

D. Ubysz, W. Giermaziak, A. Ostrowska

Zdarzenia niepożądane podczas tlenoterapii hiperbarycznej – przegląd piśmiennictwa..... p. 45

VARIA

G. Henrykowska, K. Kotecka, A. Jabłkowska, A. Buczyński, J. Woźny

Występowania przeciwciał anti-HAV IgG w populacji makroregionu łódzkiego w zależności od wieku..... p. 67

P. Bałazy, B. Kontny, J. Różycki, M. Saniewski, D. Puczko, A. Pydyn

Nurkowanie naukowe w Polsce i zaproszenie do Polskiego Komitetu Nurkowania Naukowego..... p. 77

EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE WATER-FLAT-PANEL ILLUMINATOR-AIR OPTICAL SYSTEM ON THE SIZE OF THE PHOTOGRAPHED OBJECT

OCENA WPŁYWU UKŁADU OPTYCZNEGO WODA-ILUMINATOR PŁASKORÓWNOLEGŁY-POWIETRZE NA WIELKOŚĆ OBIEKTU OBFOTOGRAFOWANEGO

Ł. Sokół, A. Olejnik

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

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The paper discusses the problem of the effect of the water - flat-panel illuminator - air optical system on the size of an object photographed in an underwater environment as well as presents an analysis of the function describing the angular size of an object photographed with this type of system along with the results of computer simulations. It has been shown that when using this type of an optical system in practice, the value of the angle of incidence of the rays from the photographed object on the illuminator plane has the major influence on output object dimensions.

Keywords: mechanical engineering, underwater technology, underwater engineering photogrammetry.

W materiale omówiono problematykę wpływu układu optycznego woda – iluminator płaskorównoległy - powietrze na wielkość obiektu obfotografowanego w środowisku podwodnym, przedstawiono analizę funkcji opisującej wielkość kątową obiektu obfotografowanego takim układem oraz wyniki symulacji komputerowych. Wskazano, że przy zastosowaniu takiego typu układu optycznego w praktyce największy wpływ na wielkość wyjściową ma wartość kąta padania promieni od fotografowanego obiektu na płaszczyznę iluminatora.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, technologia prac podwodnych, podwodna fotogrametria inżynierska.

В материале рассматривается проблема влияния оптической системы вода - плоскопараллельный иллюминатор - воздух на размер объекта, фотографируемого в подводной среде, представлен анализ функции, описывающей угловой размер объекта, фотографируемого с помощью такой системы, и результаты компьютерного моделирования. Показано, что при использовании данного типа оптической системы на практике наибольшее влияние на выходную величину оказывает величина угла падения лучей от фотографируемого объекта на плоскость иллюминатора.

Ключевые слова: машиностроение, технология подводных работ, подводная инженерная фотограмметрия.

Dieser Beitrag befasst sich mit der Frage des Einflusses des optischen Systems Wasser - Flachparallelluminator - Luft auf die Größe eines unter Wasser fotografierten Objekts, stellt eine Analyse der Funktion vor, die die Winkelgröße eines mit einem solchen System fotografierten Objekts beschreibt, und präsentiert die Ergebnisse von Computersimulationen. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung dieser Art von optischen Systemen in der Praxis der Wert des Einfallswinkels der Strahlen vom fotografierten Objekt auf die Ebene der Beleuchtungseinrichtung den größten Einfluss auf die Ausgangsgröße hat.

Schlüsselwörter: Maschinenbau, Unterwasserarbeitstechnik, Photogrammetrie für Unterwassertechnik.

En el material se ha tratado la problemática del influencia del sistema óptico agua - lente plana - aire en el tamaño del objeto fotografiado en un entorno subacuático, se ha presentado el análisis de la función que describe el tamaño angular del objeto fotografiado con este sistema y los resultados de simulaciones por ordenador. Se ha demostrado que al emplear este tipo de sistema óptico en la práctica la mayor influencia sobre el tamaño final lo tiene el valor del ángulo de incidencia de los rayos del objeto fotografiado en el plano de la lente.

Palabras clave: ingeniería mecánica, tecnología de trabajos subacuáticos, fotogrametría subacuática para ingeniería.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 7 – 20

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0013

Pages: 14, figures: 10, tables: 0

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.04.2021 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 14.06.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Człowiek, aby realizować skuteczną oraz efektywną działalność w środowisku wodnym musi dostosować swoje działania ściśle do wymagań hydrosferycznych. Znaczącym elementem funkcjonowania człowieka w każdym środowisku jest możliwość prowadzenia obserwacji, zazwyczaj w sposób naturalny za pomocą zmysłu wzroku. A jeśli to jest niemożliwe to za pomocą środków obserwacji technicznej. W hydrosferze światło podlega innym zjawiskom niż w atmosferze, co powoduje niewyraźne widzenie nieuzbrojonego ludzkiego oka bądź też kamery fotograficznej bez specjalnej konstrukcji [1,2,3]. Zagadnienia te zostały szeroko opisane na przykład w pracy J. Williamsa [4]. Najprostszym sposobem zapewnienia ostrego widzenia ludzkiemu oku lub kamerze w środowisku podwodnym jest odseparowanie ich od otaczającej hydrosfery.

W przypadku kamery fotograficznej konieczne jest również odseparowanie jej wrażliwych elementów konstrukcyjnych szczelną obudową. Powstaje wówczas układ optyczny woda – iluminator – powietrze, który przyczynia się do powstawania przekłamania w odbieranym obrazie obiektu obfotografowanego. W przypadku nurka jest on w stanie samodzielnie zminimalizować to przekłamanie, które powstaje przez załamanie się światła na iluminatorze maski bądź hełmu. Problem pojawia się przy obrazie uzyskanym kamerą fotograficzną. Obraz, który został uzyskany przez wykonanie obfotografowania danego obiektu w hydrosferze może wtedy zostać błędnie zinterpretowany. Określenie wpływu jaki na uzyskane obrazy ma układ optyczny woda –iluminator – powietrze jest zatem kluczowym zagadnieniem niezbędnym do skutecznego wykorzystania zebranego przy użyciu kamery materiału, na przykład do diagnozowania powierzchni obiektów podwodnych [5].

W technice głębinowej najczęściej znajdują zastosowanie dwa rodzaje iluminatorów do kamer: sferyczny i płaskorównoległy [6,7,8]. Iluminator sferyczny cechuje się dużym kątem widzenia kamery, aczkolwiek dobrą jakością obrazu uzyskuje się tylko w przypadku małych kątów padania światła odbitego od obiektu [9,10]. Z tych powodów w tego typu rozwiązaniach wymagana jest specjalna konstrukcja układu optycznego z soczewką kompensacyjną jeśli matryca aparatu cyfrowego ma wymiary zbliżone do klatki filmu 35 mm i precyzyjne ustawienie iluminatora względem obiektywu. Taki iluminator może też powodować niewielką dystorsję obrazu [6,10]. W przypadku iluminatorów płaskorównoległych (płaskościennych), po pierwsze są one o wiele prostsze w wykonaniu i nie wymagają precyzyjnego ustawienia względem obiektywu. Ponadto cechują się tzw. zerową mocą optyczną – dla nieskończonej odległości fotografowania nie zmieniają skali obrazu [5]. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie takiego iluminatora wraz z obiektywem szerokokątnym powoduje aberrację chromatyczną oraz dystorsję obrazu [6]. Wynika z tego, że do diagnostyki wizyjnej obiektów podwodnych najlepiej jest zastosować układ optyczny woda – iluminator – powietrze z iluminatorem płaskościennym bez obiektywu szerokokątnego, co spowoduje jak najmniejsze degradacje zbieranych danych wizyjnych [5].

Wpływ takiego układu optycznego na wielkość

INTRODUCTION

In order to realise efficient activities in the aquatic environment, it is necessary to adjust one's activities strictly to the hydrospheric requirements. A significant element of human functioning in any environment is the ability to carry out observations, usually by means of the natural sense of sight. If this is not possible it is implemented through technical observation. In the hydrosphere, light is subject to different phenomena than in the atmosphere, resulting in blurred vision for the unaided human eye or a photographic camera without a dedicated design [1,2,3]. These issues are extensively described, inter alia, in the work of J. Williams [4]. The simplest way to ensure sharp vision for the human eye or a camera in an underwater environment is to isolate it from the surrounding hydrosphere. In the case of a photographic camera, it is also necessary to isolate its sensitive components with a sealed casing. This creates a water-illuminator-air optical system, which results in a distortion in the received image of the photographed object. This distortion can be minimised in the case of a diver by the refraction of light on the mask or helmet illuminator. The problem arises with an image obtained with a photographic camera. An image that has been obtained by taking a photograph of an object in the hydrosphere can be misinterpreted. The determination of the influence that the water-illuminator-air optical system has on the images obtained is therefore a key issue necessary for the effective use of the material collected with the camera, for instance to diagnose the surface of underwater objects [5].

Two types of camera illuminators are most commonly used in underwater technology: spherical and flat-panel illuminators [6,7,8]. The spherical illuminator is characterised by a large viewing angle of the camera, although good image quality is obtained only when the incidence angle of light reflected from the object is small [9,10]. For these reasons, this type of solution requires a special design of the optical system with a compensating lens if the digital camera matrix has dimensions close to a 35 mm film frame as well as precise positioning of the illuminator in relation to the lens. Such an illuminator may also cause slight distortion of the image [6,10]. In the case of flat-panel illuminators, they are firstly much simpler to make and do not require precise positioning relative to the lens. In addition, they are characterised by so-called zero optical power - they do not change the scale of the image when taken at an infinite photographic distance [5]. However, it should be remembered that the use of such an illuminator with a wide-angle lens causes chromatic aberration and image distortion [6]. It follows that for visual diagnostics of underwater objects, it is best to use a water-illuminator-air optical system with a flat-panel illuminator without a wide-angle lens, which will result in the minimum degradation of the collected vision data [5]. The influence of such an optical system on the angular size of the photographed object was the subject of an engineering diploma thesis carried out at the Department of Underwater Works Technology of the Naval Academy in Gdynia, by Officer Cadet Łukasz Sokół under the supervision of Adam Olejnik, Ph.D., Eng [11]. The thesis was successfully defended at the beginning of 2021, and the following material will present its results.

kątową obiektu obfotografowanego był przedmiotem pracy dyplomowej inżynierskiej realizowanej w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni przez pchor. Łukasza Sokoła pod kierownictwem dr hab. inż. Adama Olejnika [11]. Praca została pomyślnie obroniona na początku roku 2021. W niniejszym materiale zostaną przedstawione jej rezultaty.

WIELKOŚĆ OBIEKTU OBFOTOGRAFOWANEGO UKŁADEM OPTYCZNYM WODA – ILUMINATOR PŁASKORÓWNOLEGŁY – POWIETRZE

Przebieg promieni przechodzących przez układ optyczny woda – iluminator płaskorównoległy – powietrze wygląda tak, jak przedstawiono na Rys. 1. Promienie, które przechodzą od przedmiotu reprezentowanego na rysunku odcinkiem \overline{AB} biegną w środowisku wodnym od przedmiotu do obiektywu kamery O . Przed obiektywem trafiają na krawędź płaszczyzny rozgraniczającej hydrosferę i powietrze, czyli na iluminator płaskorównoległy pod kątem $2\beta_w$. Na krawędzi iluminatora następuje załamanie promieni w kierunku normalnej, które docierają do obiektywu pod kątem $2\beta_p$.

THE SIZE OF THE OBJECT PHOTOGRAPHED WITH THE WATER – FLAT-PANEL ILLUMINATOR – AIR OPTICAL SYSTEM

The path of the rays passing through the water – flat-panel illuminator – air optical system is as shown in Figure 1. The rays that pass from the object represented in the figure by the segment \overline{AB} run in the water environment from the object to the camera lens O . In front of the lens, they hit the edge of the plane separating the hydrosphere and the air, i.e. the flat-panel illuminator at an angle $2\beta_w$. At the edge of the illuminator, rays are refracted in the normal direction, reaching the lens at an angle $2\beta_p$.

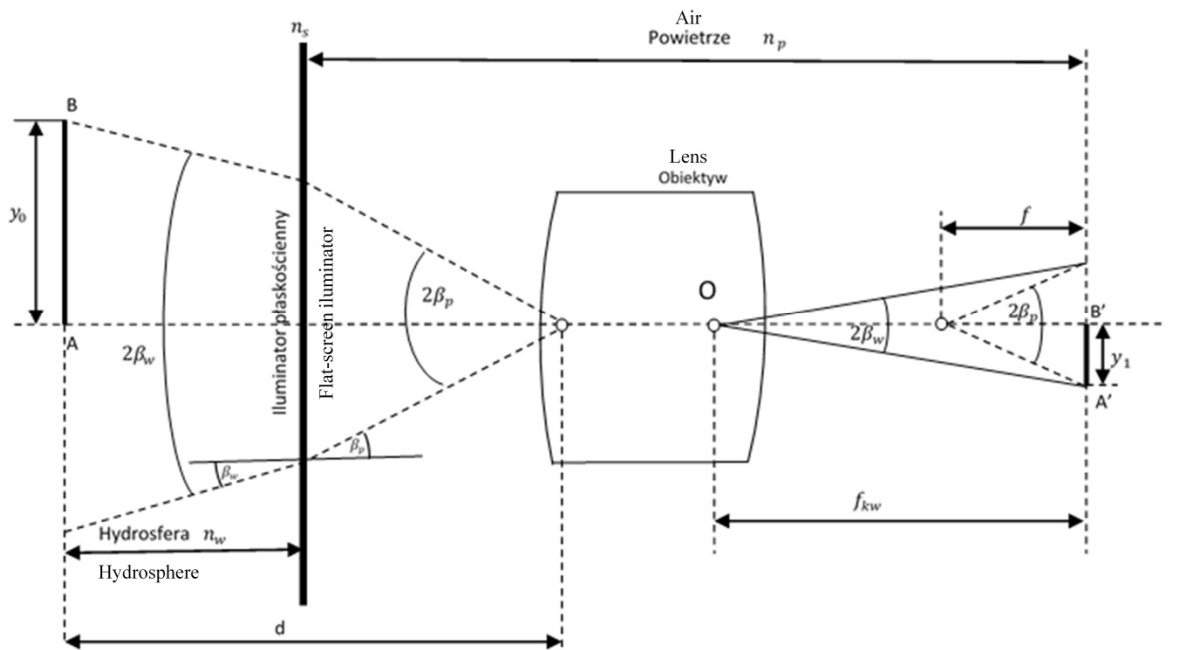


Fig. 1 The path of the rays in the water - flat-panel illuminator - air system, based on [5,6].

Rys. 1 Przebieg promieni w układzie woda – iluminator płaskorównoległy – powietrze, na podstawie [5,6].

A zatem obiekt jest widziany przez obiektyw przy innej wielkości kątowej niż rzeczywista. Promienie przechodzą przez obiektyw w płaszczyźnie obrazowej π' gdzie powstaje obraz $\overline{A'B'} = y_i$ rzeczywistego obiektu oznaczonego $\overline{AB} = y_0$. W sytuacji gdy punkt A znajduje się na osi optycznej układu, punkt oznaczony B' jest końcem promienia radialnego r' w płaszczyźnie obrazowej, wtedy [5,6,11]:

Thus, the object is seen through the lens at a different angular size from the actual object. The rays pass through the lens in the image plane π' where an image $\overline{A'B'} = y_i$ of the actual object marked as $\overline{AB} = y_0$ is formed. In the situation when point A is on the optical axis of the system, the point marked as B' is the end of the radius r' in the image plane, then [5,6,11]:

$$r' = f_{kp} \cdot tg\beta_p \quad (1)$$

$$r' = f_{kw} \cdot tg\beta_w \quad (2)$$

gdzie:

- r' - wielkość radialna obiektu obfotografowanego [rad],
- f_{kp} - ogniskowa kamery fotograficznej w powietrzu [m],
- f_{kw} - ogniskowa kamery fotograficznej w wodzie [m],
- β_p - kąt padania światła na iluminator w powietrzu [$^{\circ}$],
- β_w - kąt padania światła na iluminator w wodzie [$^{\circ}$].

Równania (1) i (2) stanowią układ, który można przekształcić do postaci:

$$r' = f_{kp} \cdot tg\beta_p \Rightarrow f_{kp} = \frac{r'}{tg\beta_p} \quad (3)$$

$$r' = f_{kw} \cdot tg\beta_w \quad (4)$$

wówczas

$$f_{kp} = \frac{f_{kw} \cdot tg\beta_w}{tg\beta_p} = f_{kw} \cdot \frac{tg\beta_w}{tg\beta_p} \quad (5)$$

Na podstawie zależności trygonometrycznych oraz w oparciu o prawo Sneliusa można zapisać następujące związki [2,6,10]:

$$tg\beta_p = \frac{\sin\beta_p}{\cos\beta_p} \quad (6)$$

A także,

$$\frac{\sin\beta_w}{\sin\beta_p} = \frac{n_p}{n_w} \quad (7)$$

gdzie:

- n_p - współczynnik załamania światła w powietrzu,
- n_w - Współczynnik załamania światła w wodzie.

Z zależności (7) wynika, że

$$\sin\beta_p = \frac{n_w}{n_p} \sin\beta_w \quad (8)$$

Ponieważ

$$\cos^2\beta_p + \sin^2\beta_p = 1 \Rightarrow \cos^2\beta_p = 1 - \sin^2\beta_p \quad (9)$$

wtedy

$$\cos\beta_p = (1 - \sin^2\beta_p)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$r' = f_{kp} \cdot tg\beta_p \quad (1)$$

$$r' = f_{kw} \cdot tg\beta_w \quad (2)$$

where:

- r' - radial size of the photographed object [rad],
- f_{kp} - focal length of photographic camera in air [m],
- f_{kw} - Focal length of photographic camera in water [m],
- β_p - angle of incidence of light on the illuminator in air [$^{\circ}$],
- β_w - angle of incidence of light on the illuminator in water [$^{\circ}$].

Equations (1) and (2) constitute a system that can be transformed to the form of:

$$r' = f_{kp} \cdot tg\beta_p \Rightarrow f_{kp} = \frac{r'}{tg\beta_p} \quad (3)$$

$$r' = f_{kw} \cdot tg\beta_w \quad (4)$$

then

$$f_{kp} = \frac{f_{kw} \cdot tg\beta_w}{tg\beta_p} = f_{kw} \cdot \frac{tg\beta_w}{tg\beta_p} \quad (5)$$

On the basis of trigonometric relationships and based on Snell's law, the following relation can be formulated [2,6,10]:

$$tg\beta_p = \frac{\sin\beta_p}{\cos\beta_p} \quad (6)$$

And also,

$$\frac{\sin\beta_w}{\sin\beta_p} = \frac{n_p}{n_w} \quad (7)$$

where:

- n_p - index of refraction in air,
- n_w - index of refraction in water.

From equation (7) it results that

$$\sin\beta_p = \frac{n_w}{n_p} \sin\beta_w \quad (8)$$

Because

$$\cos^2\beta_p + \sin^2\beta_p = 1 \Rightarrow \cos^2\beta_p = 1 - \sin^2\beta_p \quad (9)$$

then

$$\cos\beta_p = (1 - \sin^2\beta_p)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Wówczas uwzględniając równanie (8) można zapisać:

$$\sin^2 \beta_p = \left(\frac{n_w}{n_p}\right)^2 \sin^2 \beta_w \quad (11)$$

Ponieważ

$$n_p = 1 \Rightarrow \frac{n_w}{n_p} = n_w \quad (12)$$

Następnie biorąc pod uwagę zależności (11) oraz (12) równanie (6) można zapisać w postaci:

$$\cos \beta_p = [1 - n_w^2 \sin^2 \beta_w]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Uwzględniając zależność (8) oraz (13) w (6) otrzymujemy:

$$tg \beta_p = n_w \sin \beta_w [1 - n_w^2 \sin^2 \beta_w]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Ostatecznie po uwzględnieniu zależności (2) w (14) otrzymujemy finalną postać równania na wielkość kątową obiektu obfotografowanego układem optycznym woda – iluminator płaskorównoległy – powietrze:

$$r' = f_{kp} \cdot n_w \cdot \sin \beta_w \cdot [1 - n_w^2 \cdot \sin^2 \beta_w]^{-\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Z czego wynika, że

$$r' = f(f_{kp}; n_w; \beta_w) \quad (16)$$

W przypadku iluminatora sferycznego wielkość kątową obiektu (r') będzie jeszcze dodatkowo uzależniona od promienia krzywizny iluminatora (R) oraz ogniskowej soczewki kompensującej (f_s) i kąta padania promieni w powietrzu, wówczas:

$$r' = f(R; f_s; \beta_p; n_w; \beta_w) \quad (17)$$

Porównanie zależności (17) i (16) wyraźnie pokazuje, że wielkość kątową obiektu obfotografowanego układem optycznym woda – iluminator płaskorównoległy – powietrze jest zależna tylko od trzech zmiennych: orientacji wewnętrznej kamery – jej ogniskowej w powietrzu (k_p), współczynnika załamania światła w wodzie (n_w) oraz kąta padania światła na iluminator (β_w).

OCENA WPŁYWU UKŁADU OPTYCZNEGO WODA – ILUMINATOR PŁASKORÓWNOLEGŁY – POWIETRZE NA WIELKOŚĆ OBIEKTU OBFOTOGRAFOWANEGO

Ocenę wpływu analizowanego układu optycznego na wielkość kątową obiektu obfotografowanego w środowisku podwodnym realizowano według algorytmu przedstawionego na rysunku poniżej.

Then, taking into account equation (8), we may write:

$$\sin^2 \beta_p = \left(\frac{n_w}{n_p}\right)^2 \sin^2 \beta_w \quad (11)$$

Because

$$n_p = 1 \Rightarrow \frac{n_w}{n_p} = n_w \quad (12)$$

Next, taking into account relations (11) and (12) equation (6) may take the following form:

$$\cos \beta_p = [1 - n_w^2 \sin^2 \beta_w]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

In considering equations (8) and (13) in (6) we obtain:

$$tg \beta_p = n_w \sin \beta_w [1 - n_w^2 \sin^2 \beta_w]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Finally, after taking into account the relation (2) in (14), we obtain the final form of the equation for the angular size of the object photographed with the optical system water - flat-panel illuminator - air:

$$r' = f_{kp} \cdot n_w \cdot \sin \beta_w \cdot [1 - n_w^2 \cdot \sin^2 \beta_w]^{-\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Wherefrom it results that

$$r' = f(f_{kp}; n_w; \beta_w) \quad (16)$$

In the case of a spherical illuminator, the angular size of the object (r') will further depend on the radius of curvature of the illuminator (R) and the focal length of the compensating lens (f_s) and the angle of incidence of the rays in air, then

$$r' = f(R; f_s; \beta_p; n_w; \beta_w) \quad (17)$$

Comparison of the relations (17) and (16) clearly shows that the angular size of the object photographed with the optical system water – flat-panel illuminator – air depends on three variables only: internal orientation of the camera – its focal length in air (k_p), the refractive index in water (n_w) and the angle of incidence of light on the illuminator (β_w).

EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE WATER – FLAT-PANEL ILLUMINATOR – AIR OPTICAL SYSTEM ON THE SIZE OF THE PHOTOGRAPHED OBJECT

The evaluation of the effects of the analysed optical system on the angular size of the object photographed in the underwater environment was carried out according to the algorithm presented in the figure below.



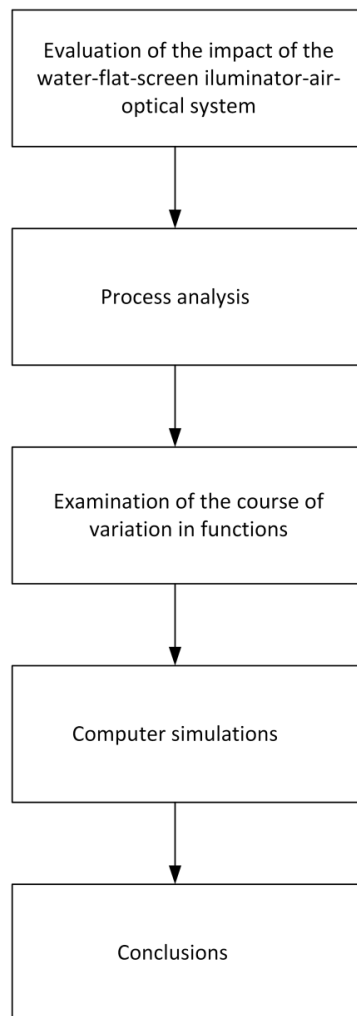


Fig. 2 Algorithm for the evaluation of the effects of the analysed optical system on the angular size of the photographed object.

Rys. 2 Algorytm postępowania podczas oceny wpływu analizowanego układu optycznego na wielkość kątową obiektu obfotografowanego.

W toku analizy procesu zdefiniowano wielkości wejściowe i wyjściowe oraz wielkości zakłócające i wielkości stałe procesu (Rys. 3). Zgodnie z równaniem (16) wielkościami wejściowymi w badanym procesie jest ogniskowa kamery (f_{kp}) oraz wartość kąta pod jakim pada światło na iluminator płaskorównoległy, natomiast współczynnik załamania światła w wodzie (n_w) jest wielkością stałą procesu i wynosi 1,33. Wielkościami zakłócającymi analizowany proces są absorpcja światła przez środowisko wodne (I_z), rozproszenie mechaniczne i molekularne światła w wodzie (I_α) oraz pochłanianie światła (L). Wielkością wyjściową jest wielkość kątowa obiektu obfotografowanego (r'). Badanie przebiegu funkcji wykonano przyjmując za założenia wyjściowe.

W pierwszym przypadku badany był wpływ zmiany wielkości ogniskowej kamery przy stałej wartości kąta padania światła na iluminator, a w drugim badano wpływ zmiany kąta przy stałej wartości ogniskowej (Rys. 4). Przed rozpoczęciem badania dokonano analizy w jakim zakresie zmianie może ulegać kąt padania światła na iluminator.

In the course of the process analysis, the input and output quantities, as well as the interference quantities and process constants, were defined (Fig. 3). According to equation (16), the input quantities for the process under investigation are the focal length of the camera (f_{kp}) and the value of the angle at which the light is projected onto the flat-panel illuminator, while the refractive index in water (n_w) is a constant quantity of the process and equals 1.33. The interfering quantities analysed are the absorption of light by the aquatic environment (I_z), the mechanical and molecular diffraction of light in water (I_α) and the absorption of light (L). The output quantity is the angular size of the photographed object (r'). The study of the function course was performed by adopting the initial assumptions.

In the first case, the effect of changing the focal size of the camera at a constant value of the angle of incidence of light on the illuminator was studied, while in the second case, the study investigated the effect of changing the angle at a constant value of the focal length (Fig. 4). Prior to the study commencement, an analysis was made of the extent to which the angle of incidence of light on the illuminator could change.

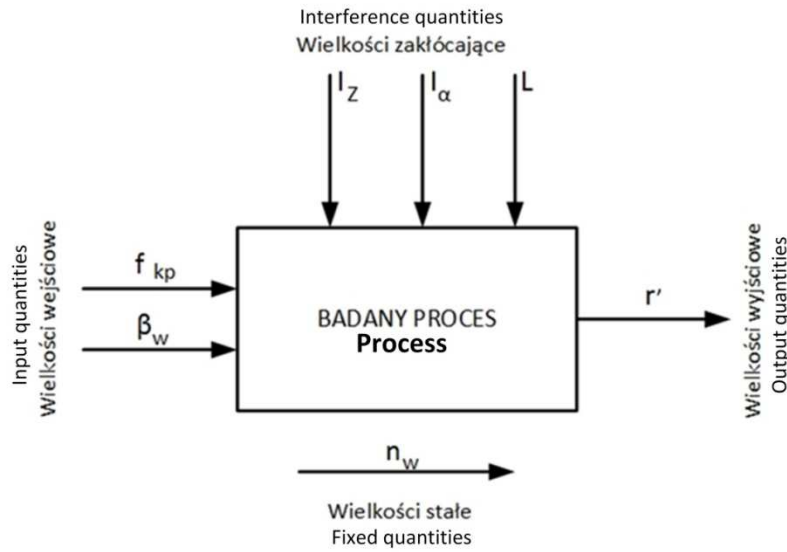


Fig. 3 Diagram of the process analysed (indications in the text).

Rys. 3 Schemat analizowanego procesu (oznaczenia w tekście).

Zgodnie z prawem załamania światła na granicy dwóch ośrodków oraz przy założeniu, że maksymalną wartością padania światła jest 90° , można obliczyć kąt β_w . Promień świetlny w analizowanym układzie załamuje się najpierw na granicy wody i iluminatora, następnie po przejściu przez iluminator załamuje się na granicy iluminatora i powietrza. Wystąpią tu zatem trzy kąty padania światła - B_w - kąt załamania światła na granicy wody i iluminatora, α - kąt padania światła w iluminatorze oraz β_p - kąt załamania światła na granicy iluminatora i powietrza. Występują także trzy współczynniki załamania światła, ponieważ promień przechodzi przez trzy ośrodki: n_w - współczynnik załamania światła w wodzie (1,33); n_s - współczynnika załamania światła w szkłe (1,60) oraz n_p - współczynnik załamania światła w powietrzu (1,0). Wówczas wykorzystując prawo załamania światła możemy zapisać:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_p} = \frac{n_p}{n_s} \quad (18)$$

Ponieważ zakładamy, że maksymalna wartość β_p wynosi 90° to $\sin \beta_p = 1,0$ wówczas równanie (18) przyjmuje postać:

$$\frac{\sin \alpha}{1,0} = \frac{1,0}{1,60} \Rightarrow \sin \alpha = 0,625 \quad (19)$$

Podobnie wykorzystując prawo załamania światła możemy zapisać:

$$\frac{\sin \beta_w}{\sin \alpha} = \frac{n_s}{n_w} \quad (20)$$

Co uwzględniając równanie (19) można zapisać:

According to the law of refraction at the boundary between two media, and assuming that the maximum value of the incident light is 90° , it is possible to calculate the angle β_w . The light ray in the system under consideration is first refracted at the boundary between water and the illuminator, then, after passing through the illuminator, it refracts at the boundary between the illuminator and the air. Therefore, there are three angles of incidence - B_w - the angle of refraction at the boundary between water and the illuminator, α - the angle of incidence in the illuminator and β_p - the angle of refraction at the boundary between the illuminator and air. Also, there are three refractive indices as the ray passes through three media: n_w - refractive index in water (1.33); n_s - refractive index in glass (1.60) and n_p - refractive index in air (1.0). Then, applying the law of refraction, we can write

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_p} = \frac{n_p}{n_s} \quad (18)$$

Since we assume that the maximum value of β_p is 90° then $\sin \beta_p = 1.0$ in which case equation (18) becomes

$$\frac{\sin \alpha}{1,0} = \frac{1,0}{1,60} \Rightarrow \sin \alpha = 0,625 \quad (19)$$

Similarly, using the law of refraction, we can write down the following:

$$\frac{\sin \beta_w}{\sin \alpha} = \frac{n_s}{n_w} \quad (20)$$

Which, given equation (19), can be written down as:



$$\frac{\sin\beta_w}{0,625} = \frac{1,60}{1,33} \Rightarrow \sin\beta_w = 0,751 \Rightarrow \beta_w \cong 48^\circ \quad (21)$$

$$\frac{\sin\beta_w}{0,625} = \frac{1,60}{1,33} \Rightarrow \sin\beta_w = 0,751 \Rightarrow \beta_w \cong 48^\circ \quad (21)$$

Z zależności (21) wynika, że wartością maksymalną dla kąta β_w jest 48° .

From equation (21) it results that the maximum value for angle β_w is 48° .

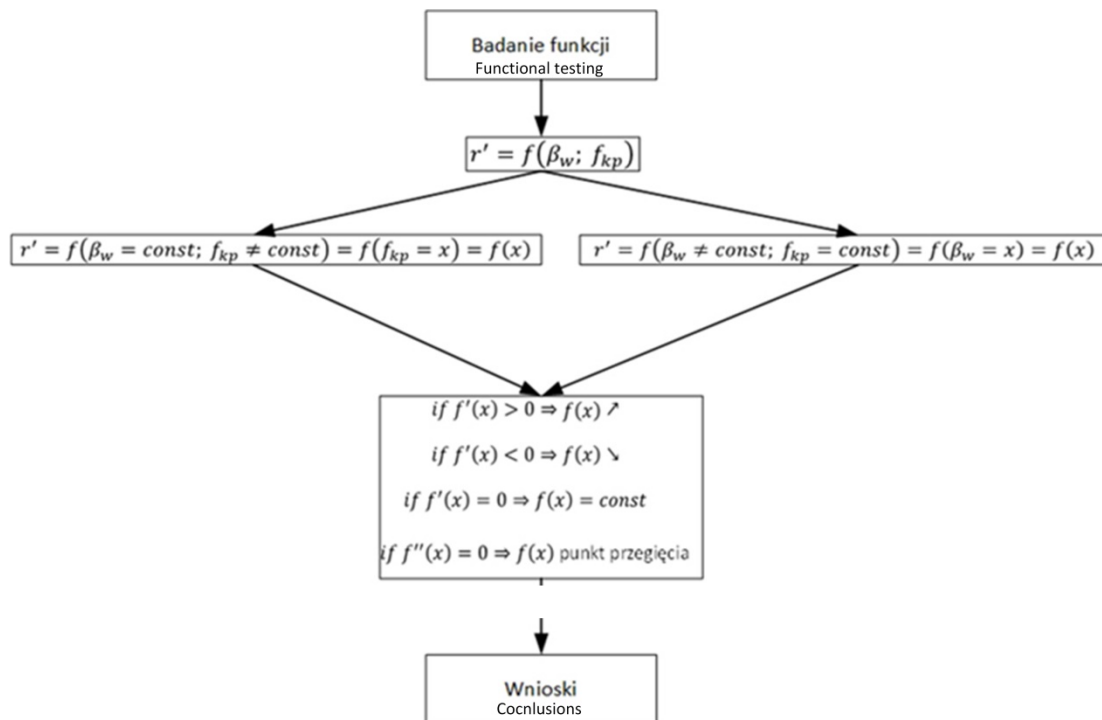


Fig. 4 The adopted algorithm of function evaluation.

Rys. 4 Przyjęty algorytm badania funkcji.

Funkcję o postaci opisanej równaniem (15) badano z wykorzystaniem standardowych procedur w oparciu o analizę matematyczną, sprawdzając następujące warunki:

$$1. f'(x) > 0 \Rightarrow f(x) / \quad (22)$$

$$2. f'(x) < 0 \Rightarrow f(x) \setminus \quad (23)$$

$$3. f'(x) = 0 \Rightarrow f(x) = \text{const}; f(x) \text{ ma ekstremum} \quad (24)$$

Zgodnie z Rys. 4 badanie funkcji rozpoczęto od założenia, że zmianie ulega jedynie jedna z wielkości wejściowych – kąt padania światła na iluminator na granicy woda – iluminator (β_w), pozostałe wielkości są stałe. Przyjmując, że $x = \beta_w$; $a = f_{kp}$; $b = n_w$, badana funkcja opisana zależnością (15) przyjmuje następującą postać:

The function in the form described by equation (15) was tested using standard procedures based on mathematical analysis, checking the following conditions:

$$1. f'(x) > 0 \Rightarrow f(x) / \quad (22)$$

$$2. f'(x) < 0 \Rightarrow f(x) \setminus \quad (23)$$

$$3. f'(x) = 0 \Rightarrow f(x) = \text{const}; f(x) \text{ ma ekstremum} \quad (24)$$

According to Fig. 4, the study of the function started with the assumption that only one of the input quantities changes - the angle of incidence of the light on the illuminator at the water-illuminator interface (β_w), with the remaining quantities being constant. Assuming that $x = \beta_w$; $a = f_{kp}$; $b = n_w$, he studied function described by the relation (15) takes the following form:

$$f(x) = a \cdot b \cdot \sin x (1 - b^2 \sin^2 x)^{-\frac{1}{2}} \quad (25)$$

$$f(x) = a \cdot b \cdot \sin x (1 - b^2 \sin^2 x)^{-\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Wówczas:

$$f'(x) = \frac{ab \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{1}{2}}} + \frac{ab^3 \sin^3 x \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{3}{2}}} \quad (26)$$

Dla warunku (22) $f'(x) > 0$, równanie (27) przyjmuje postać:

$$f'(x) > 0 \Rightarrow \frac{ab \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{1}{2}}} + \frac{ab^3 \sin^3 x \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{3}{2}}} > 0 \quad (27)$$

co po przeliczeniu można zapisać:

$$1 - b^2 \sin^2 x > 0 \quad (28)$$

Dla warunku (23) $f'(x) < 0$, można zapisać:

$$1 - b^2 \sin^2 x > 0 \quad (29)$$

Natomiast dla warunku $f'(x) = 0$, równanie (26) przyjmuje postać:

$$1 - b^2 \sin^2 x = 0 \quad (30)$$

Pamiętając, że $b = n_w = \text{const} = 1,33$ oraz, że $x = \beta_w$, i że teoretycznie wartość kąta może zawierać się w przedziale od 0^0 do 360^0 , można obliczyć przebieg zmienności funkcji $f'(x)$ i zbadać warunki opisane zależnościami (28), (30) i (31) graficznie - Rys. 5.

Then:

$$f'(x) = \frac{ab \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{1}{2}}} + \frac{ab^3 \sin^3 x \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{3}{2}}} \quad (26)$$

For condition (22) $f'(x) > 0$, equation (27) assumes the form:

$$f'(x) > 0 \Rightarrow \frac{ab \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{1}{2}}} + \frac{ab^3 \sin^3 x \cos x}{(1 - b^2 \sin^2 x)^{\frac{3}{2}}} > 0 \quad (27)$$

which, after calculation, can be written down as:

$$1 - b^2 \sin^2 x > 0 \quad (28)$$

For condition (23) $f'(x) < 0$, we can write:

$$1 - b^2 \sin^2 x > 0 \quad (29)$$

Whereas for condition $f'(x) = 0$, equation (26) assumes the following form:

$$1 - b^2 \sin^2 x = 0 \quad (30)$$

Bearing in mind that $b = n_w = \text{const} = 1,33$ and that $x = \beta_w$, and that theoretically the value of the angle can range from 0^0 to 360^0 , it is possible to calculate that course of variation of the function $f'(x)$ and examine the conditions described by relations (28), (30) and graphically by (31) - Fig. 5.

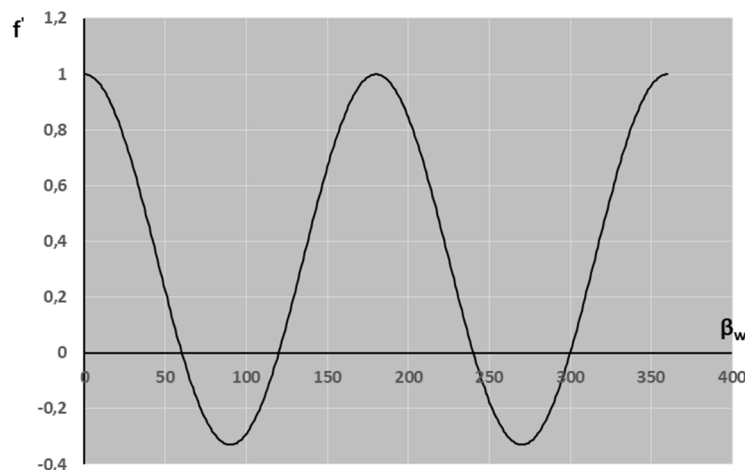


Fig. 5 Function $f'(x)$ variability course, where $x = \beta_w$.

Rys. 5 Przebieg zmienności funkcji $f'(x)$ gdzie $x = \beta_w$.

Zgodnie z zależnością (21) maksymalna wartość kąta β_w nie może przekroczyć wartości 48° , biorąc pod uwagę dane z Rys. 5 oraz Tab.1 pochodna $f'(x)$ w przedziale od 0° do 61° jest większa od zera, w związku z powyższym funkcja $f(x)$ będzie w tym przedziale rosnąca.

W kolejnym kroku badania funkcji założono, że zmianie w równaniu (15) ulega tylko wartość ogniskowej kamery fotogrametrycznej, a pozostałe wielkości są stałe. Przyjmując, że $f_{kp} = x; a = n_w; b = \beta_w$ równanie (15) przyjmuje postać:

$$f(x) = x \cdot a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} \quad (36)$$

Podczas badania zastosowano te same warunki (22), (23), (24).

Wówczas:

$$f'(x) = a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} \quad (31)$$

Dla warunku (22) $f'(x) > 0$, równanie (39) przyjmuje postać:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} > 0 \quad (32)$$

Podobnie dla warunku (23) $f'(x) < 0$, możemy zapisać:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} < 0 \quad (33)$$

Dla warunku (24), można natomiast zapisać:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} = 0 \quad (34)$$

Również i w tym przypadku, co wynika z postaci równań (32), (33) i (34) wartość pochodnej $f'(x)$ pomimo tego, że w tym przypadku $x = f_{kp}$ będzie jednak uzależniona od wartości kąta b (β_w). Podobnie jak w poprzednim przypadku zagadnienie można rozwiązać graficznie, ponieważ wartości a i b stanowią zbiór zamknięty. W tym przypadku $a = 1,33$, a wartość b zawiera się w przedziale od 0° do 360° – Rys. 6.

Zgodnie z zależnością (21) maksymalna wartość kąta β_w nie może przekroczyć wartości 48° , biorąc pod uwagę dane z Rys. 6 oraz Tab.2 pochodna $f'(x)$ w przedziale od 0° do 48° jest większa od zera, w związku z powyższym funkcja $f(x)$ będzie w tym przedziale rosnąca.

W kolejnym kroku wykonano obliczenia symulacyjne zgodnie z algorytmem przedstawionym na Rys. 5. W pierwszej kolejności przyjmując stałą wartość ogniskowej kamery $f_{kp} = \text{const} = 0,035$ [m] oraz zmiany kąta zgodnie z wnioskiem wynikającym z równania (21) w zakresie od 0° do 48° ($\beta_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$), a także $n_w = 1,33$. Dla tak dobranych wartości obliczono wartości funkcji opisanej równaniem (15) – wyniki przedstawiono na kolejnym rysunku.

According to relation (21), the maximum value of the angle β_w cannot exceed the value of 48° , given the data from Fig. 5 and Tab.1 the derivative $f'(x)$ in the range from 0° to 61° is greater than zero, therefore function $f(x)$ will be increasing in this range.

In the next step of the function study, it was assumed that only the value of the focal length of the photogrammetric camera changes in equation (15) and that the other quantities are constant. Assuming that $f_{kp} = x; a = n_w; b = \beta_w$ equation (15) takes the following form:

$$f(x) = x \cdot a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} \quad (36)$$

During the study the same conditions (22), (23), (24) were applied.

Then:

$$f'(x) = a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} \quad (31)$$

For condition (22) $f'(x) > 0$, equation (39) takes the form of:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} > 0 \quad (32)$$

Similarly, for condition (23) $f'(x) < 0$, we can write down:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} < 0 \quad (33)$$

For condition (24), on the other hand, we can write down the following:

$$a \cdot \sin b(1 - a^2 \sin^2 b)^{-\frac{1}{2}} = 0 \quad (34)$$

Again, as can be seen from the form of equations (32), (33) and (34) the value of the derivative $f'(x)$, despite the fact that in this case $x = f_{kp}$ will nevertheless depend on the value of the angle b (β_w). As in the previous case, the problem can be solved graphically because the value of a and b constitute a closed set. In this case $a = 1,33$, and the value of b lies in the range from 0° to 360° – Fig. 6.

In accordance with relation (21), the maximum value of the angle β_w cannot exceed the value 48° , taking into account the data from Fig. 6 and Tab.2 the derivative $f'(x)$ in the range from 0° to 48° is greater than zero, therefore the function $f(x)$ will be increasing in this interval.

The next step involved simulation calculations according to the algorithm shown in Fig. 5. Firstly, assuming a constant value of the camera focal length $f_{kp} = \text{const} = 0,035$ [m] and angle changes according to the inference resulting from equation (21) in the range from 0° to 48° ($\beta_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$), as well as $n_w = 1,33$. For such selected values, the values of the function described by equation (15) were calculated - the results are shown in the following figure.

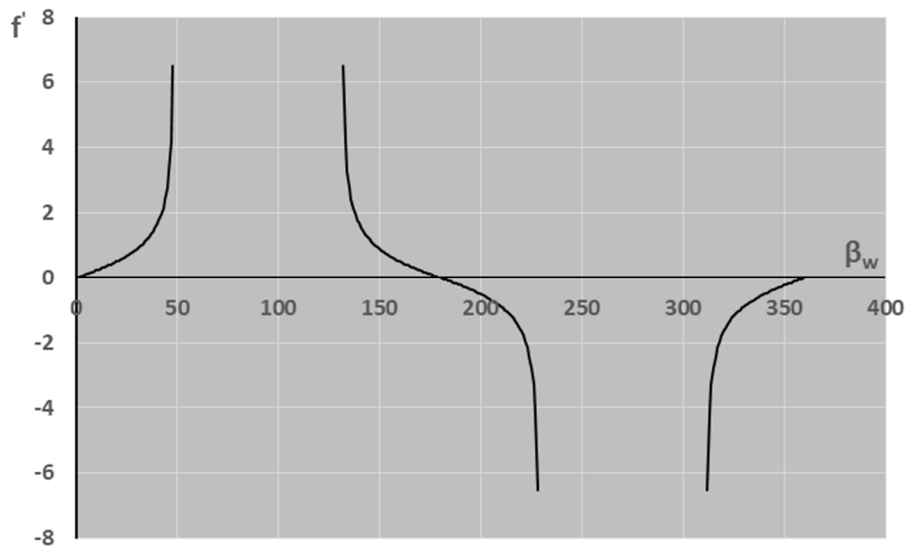


Fig. 6 Function variability course $f'(x)$ where $x = f_{kp}$.

Rys. 6 Przebieg zmienności funkcji $f'(x)$ gdzie $x = f_{kp}$.

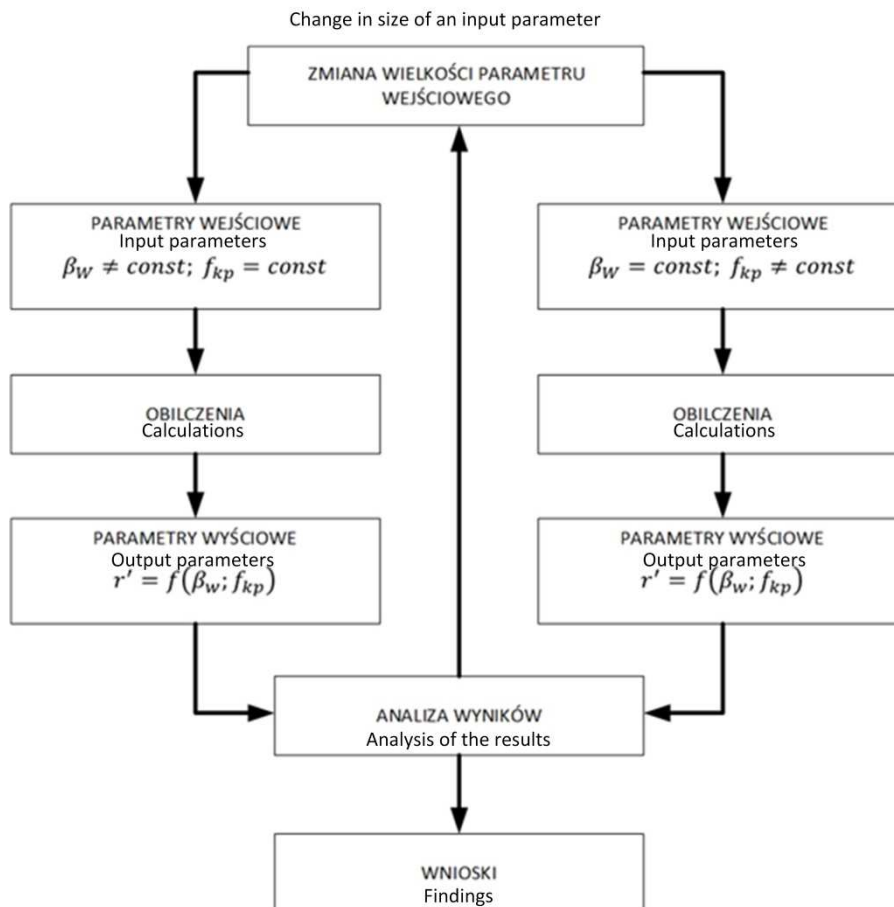


Fig. 7 Algorithm for the performer simulation calculations.

Rys. 7 Algorytm wykonanych obliczeń symulacyjnych.

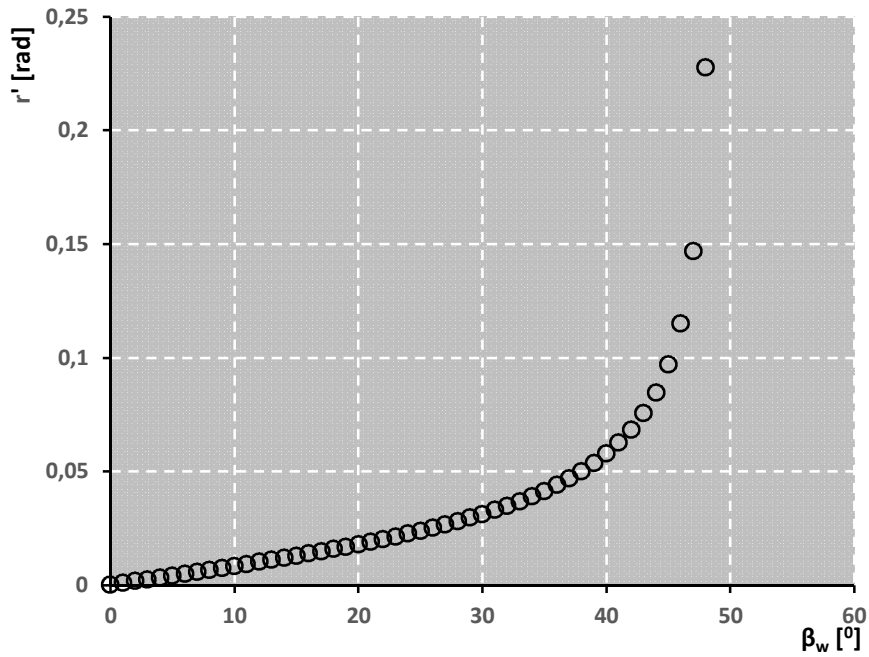


Fig. 8 Calculations results for $f_{kp}=0,035$ [m], $n_w=1,33$ and $B_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$.

Rys. 8 Wyniki obliczeń dla $f_{kp} = 0,035$ [m], $n_w = 1,33$ i $B_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$.

Następnie wykonano obliczenia przyjmując $\beta_w = const = 11,0$ [°], $n_w = 1,33$ oraz $f_{kp} \in (0,035 \div 0,083)$ [m], wyniki przedstawiono na rysunku poniżej.

Next, calculations were carried out assuming that $\beta_w = const = 11,0$ [°], $n_w = 1,33$ and $f_{kp} \in (0,035 \div 0,083)$ [m]. The results are presented in the figure below.

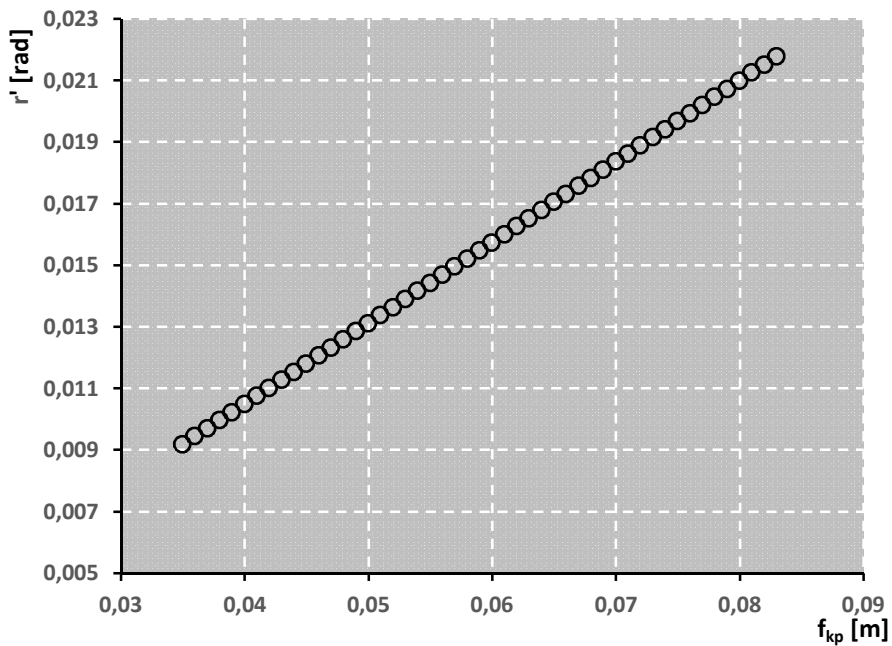


Fig. 9 Calculations results for $\beta_w = 11,0$, $n_w = 1,33$ and $f_{kp} \in (0,035 \div 0,083)$.

Rys. 9 Wyniki obliczeń dla $\beta_w = 11,0$, $n_w = 1,33$ i $f_{kp} \in (0,035 \div 0,083)$.

WNIOSKI

Analizie poddano funkcję opisującą wielkość kątową obiektu obfotografowanego (r') układem optycznym woda – iluminator płaskorównoległy – powietrze opisaną równaniem (15). Z równania tego wynika, że wielkość wyjściowa jest uzależniona od zmiany trzech parametrów: kąta padania promieni na iluminator, ogniskowej kamery oraz współczynnika załamania światła w wodzie. Ponieważ wartość współczynnika jest wielkością stałą, z powyższego wynika, że bezpośredni wpływ na wielkość obiektu obfotografowanego ma kąt padania promieni (β_w) i ogniskowa kamery (f_{kp}). Z powyższych powodów podczas badania funkcji analizowano wpływ zmian tych wielkości na wielkość wyjściową. Przebieg zmienności funkcji $f'(\beta_w)$ i $f'(f_{kp})$ przedstawiono na Rys. 5 i Rys. 6. W obydwu przypadkach okazało się, że wartości pochodnej wykazują znaczącą zależność od wartości $\Delta\beta_w$.

Ponadto, zgodnie z wynikiem równania (21) maksymalna wartość tego kąta nie może przekroczyć wartości 48° . Zarówno pochodna funkcji $f'(\beta_w)$ i $f'(f_{kp})$ w zakresie $\Delta\beta \in (0^\circ \div 48^\circ)$ przyjmuje wartości dodatnie $f'(x) > 0 \Rightarrow f(x) \nearrow$, a to oznacza, że wzrost wartości β_w i f_{kp} będzie miał wpływ na wzrost wartości r' . Wnioski z badania funkcji $r' = f(\beta_w; f_{kp})$ zostały potwierdzone wynikami symulacji komputerowych. Za pomocą równania (15) wykonano obliczenia funkcji przy $f_{kp} = 0,035 [m]$; $n_w = 1,33$ oraz $\beta_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$ oraz przy założeniu, że $\Delta\beta_w = 11,0^\circ$; $n_w = 1,33$ oraz $f_{kp} \in (0,035[m] \div 0,083[m])$. Wyniki obliczeń przedstawiono na Rys. 8 i Rys. 9. Obydwa rysunki wskazują wprost na istnienie korelacji pomiędzy zmiennymi. W przypadku Rys. 8 obrazuje on korelację krzywoliniową, a Rys. 9 – prostoliniową. Potwierdzają to obliczone dla tych przebiegów współczynniki korelacji Pearsona. Dla Rys. 8 wynoszący odpowiednio $e_{r\beta_w} = 0,7933$, a dla przebiegu z Rys. 9 - $e_{rf_{kp}} = 1,0$. Obliczone na ich podstawie współczynniki determinacji pokazują, że w przypadku funkcji $r' = f(\beta_w)$ 63% zmian wartości zmiennej niezależnej miały wpływ na zmiany wartości zmiennej zależnej ($e_{r\beta_w}^2 = 0,6294$), a w przypadku funkcji $r' = f(f_{kp})$ 100% zmian wartości zmiennej niezależnej miało wpływ na zmiany zmiennej zależnej.

Jak wynika z przeprowadzonych analiz i obliczeń teoretycznie wielkość kątowa obiektu obfotografowanego jest najbardziej wrażliwa na zmiany ogniskowej kamery fotograficznej. W warunkach praktycznych zachodzi jednak sytuacja, w której ta wielkość jest wartością stałą, co przy stałej wartości współczynnika załamania światła w wodzie oznacza, że praktycznie wartość r' jest uzależniona od wartości $\Delta\beta_w$. Wyniki obliczeń dla funkcji $r' = f(\beta_w)$ pokazują wyraźnie, że ponad 60% zmian kąta miało bezpośredni wpływ na zmiany wielkości r' . Przy czym w zakresie od 0° do 30° wartość r' narasta średnio o 0,1% na 1° , a w przedziale od 30° do 48° narasta średnio o 1,05% na 1° . Z powyższego wynika, że wraz ze wzrostem kąta padania promieni na iluminator zmianie ulega skala obrazu, który chcielibyśmy wykorzystać do zwiarytowania obfotografowanego obiektu.

Wyniki przedstawionych analiz są zgodne z założeniami teoretycznymi podanymi w publikacji Bekiera i Kaczyńskiego (Rys. 3.29 str. 54) [2]. W dalszym

CONCLUSIONS

The analysis was performed on the function describing the angular size of the object photographed (r') with the optical system water - flat-panel illuminator - air described by equation (15). Based on this equation, the output quantity depends on the variation of three parameters: the angle of incidence of the rays on the illuminator, the focal length of the camera and the refractive index of the water. Since the value of the index is a constant quantity, it is evident from the above that the angle of incidence (β_w) and the camera focal length (f_{kp}) have a direct effect on the size of the photographed object. For the above reasons, the effect of changes in these quantities on the output size was analysed during the function study. The course of the variation of the functions $f'(\beta_w)$ and $f'(f_{kp})$ are shown in Fig. 5 and Fig. 6. In both cases, it was found that the values of the derivative show a significant dependence on the value $\Delta\beta_w$. Moreover, according to the result of equation (21), the maximum value of this angle cannot exceed the value of 48° . Both the derivative of the function $f'(\beta_w)$ and $f'(f_{kp})$ in the range $\Delta\beta \in (0^\circ \div 48^\circ)$ take positive values $f'(x) > 0 \Rightarrow f(x) \nearrow$, meaning the an increase in the values β_w and f_{kp} will translate into an increase in value r' . The conclusions from the evaluation of function $r' = f(\beta_w; f_{kp})$ were confirmed by the results of computer simulations. Using equation (15), function calculations were performed assuming $f_{kp} = 0,035 [m]$; $n_w = 1,33$ and $\beta_w \in (0^\circ \div 48^\circ)$ and with the assumption that $\Delta\beta_w = 11,0^\circ$; $n_w = 1,33$ and $f_{kp} \in (0,035[m] \div 0,083[m])$. The results of the calculations are shown in Fig. 8 and Fig. 9. Both figures explicitly demonstrate the existence of a correlation between the variables. Fig. 8 shows a curvilinear correlation and Fig. 9 a linear correlation. This is confirmed by the Pearson correlation coefficients calculated for these courses. For Fig. 8, it equals $e_{r\beta_w} = 0,7933$, whereas for the course from Fig. 9 - $e_{rf_{kp}} = 1,0$. The determination coefficients calculated from these show that, in the case of the function $r' = f(\beta_w)$ 63% of the changes in the value of the independent variable had an impact on changes in the dependent variable ($e_{r\beta_w}^2 = 0,6294$), and for the function $r' = f(f_{kp})$ 100% of changes in the independent variable had an impact on changes in the dependent variable.

As can be seen from the performed analyses and calculations, theoretically the angular magnitude of the photographed object is most sensitive to changes in the focal length of the photographic camera. In practical conditions, however, the situation emerges where this magnitude is a constant value, which, with a constant value of the refractive index in water, means that in practice the value of r' is dependent on the value of $\Delta\beta_w$. The results of the calculations for the function $r' = f(\beta_w)$ clearly show that more than 60% of the changes in angle had a direct effect on the changes in the magnitude of r' . Whereas in the range from 0° to 30° the value of r' increases by an average of 0.1% per 1° , and in the range from 30° to 48° it increases by an average of 1.05% per 1° . From the above, it can be seen that as the angle of incidence on the illuminator increases, the scale of the image we would like to use to size the



toku prac planuje się przeprowadzenie szeregu eksperymentów w basenie testowym w kierunku potwierdzenia powyższych wniosków. Dla potrzeb planowanego eksperymentu dobrano odpowiednią kamerę fotograficzną oraz zaprojektowano dla niej obudowę do pracy w warunkach środowiska wodnego (Rys. 10).

photographed object changes. The results of the presented analyses are consistent with the theoretical assumptions provided in the publication by Bekier and Kaczyński (Fig. 3.29 p. 54) [2]. In the further course of work, a number of experiments are planned in the test pool towards confirming the above conclusions. For the purposes of the planned experiment, a suitable photographic camera was selected and a casing was designed to enable its operation in an aquatic environment (Fig. 10).

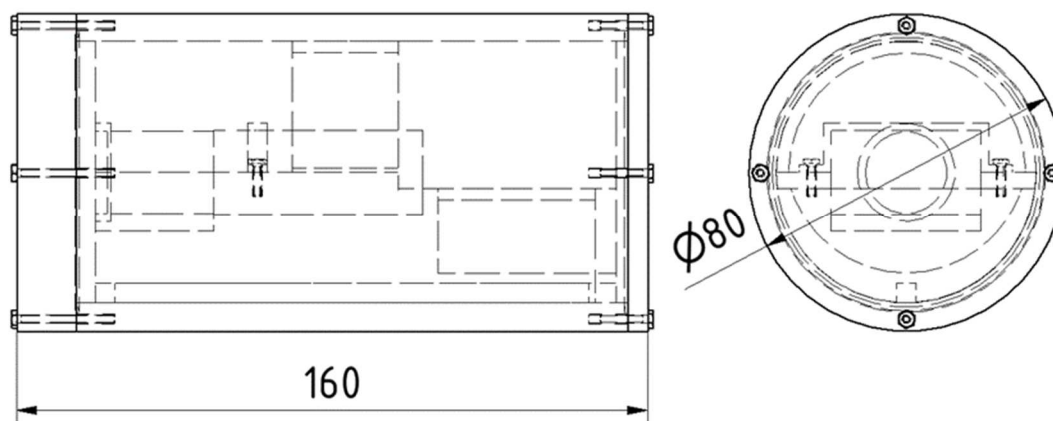


Fig. 10 Design of the casing for the photographic camera planned for use in the test pool experiments.

Rys. 10 Projekt obudowy dla kamery fotograficznej planowanej do wykorzystania w eksperymentach w basenie testowym.

REFERENCES

1. Aw M., Meur M.: Cyfrowa fotografia podwodna dla zaawansowanych, Wielki Błękit 2010; ISBN 978-83-61217-28-2,
2. Edge M., Gibson S.: The Underwater Photographer; CRS Press 2020 r., ISBN 978-1-136-12358-8,
3. Zubrzycki W.: Fotografia podwodna, Filmowa Agencja Wydawnicza, W-wa 1959.
4. Williams J.: Optical properties of the sea; United States Naval Institute; USA 1970, ISBN 0-87021-506-X,
5. Olejnik A.: Metoda diagnozowania powierzchni obiektów podwodnych z wykorzystaniem systemu wizyjnego; Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia 2015 r., Tom LVI; Zeszyt Nr 200A; ISSN 0860-889X; e-ISSN 2300-5300; DOI: 10.5604/0860889X;
6. Bekier L., Kaczyński R.: Fotografia i fotogrametria podwodna; Wyd. Naukowo-Techniczne W-wa 1985 r., ISBN 83-204-0669-2;
7. Jackson R.M.: Essentials of underwater photography; Best Publishing Company, USA 2000 r., ISBN 0-941332-77-2;
8. O'Byrne M., Ghosh B., Schoefs F., Pakrashi V.: Image-Based Damage Assessment for Underwater Inspections; CRS Press 2019 r., ISBN 978-1-138-03186-9;
9. Orzepkowski Sł.: Fotografia podwodna; Wyd. Naukowo-Techniczne, W-wa 1975 r.,
10. Samsel J.: Pletwonurek fotograf; KDP Poland, W-wa 2001 r., ISBN 83-913030-2-0;
11. Sokół Ł.: Ocena wpływu układu optycznego woda-iluminator płaskorównoległy-powietrze na wielkość obiektu obfotografowanego w środowisku podwodnym; Praca dyplomowa Inżynierska Wydział Mechaniczno-Elektryczny Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni pod kierunkiem dr hab. inż. A. Olejnik, Gdynia 2021 rok,

mgr inż. Łukasz Sokół
e-mail: 21281@edu.amw.gdynia.pl

Adam Olejnik ORCID: 0000-0003-1199-5835

UNDERWATER VEHICLES IN THE RESEARCH WORK OF SZCZECIN UNIVERSITIES – PROJECTS

POJAZDY PODWODNE W PRACACH NAUKOWYCH UNIwersYTETU SZCZECIŃSKIEGO - PROJEKTY

Tadeusz Graczyk

Maritime University in Szczecin, Faculty of Navigation, Department of Ocean Engineering and Shipbuilding, Poland
Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Katedra Oceanotechniki i Okrętów

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article presents the development and scope of research work in the early period of interest in deep-sea technology in Poland in the 1980s. The research was carried out at the then Szczecin University of Technology and initially concerned studies of the level of world technology, followed by the construction of experimental unmanned underwater vehicles. The work culminated in the development of designs for manned deep-sea vehicles, the construction of which depended on commissions from the countries of the Eastern Bloc. Political and economic changes resulted in the abandonment of the continuation of work.

Słowa kluczowe: underwater technology, underwater vehicles, manned underwater vehicles.

W artykule przedstawiono rozwój i zakres prac badawczych w początkowym okresie zainteresowania techniką głębinową w Polsce w latach 80. ubiegłego wieku. Prace te przebiegały na ówczesnej Politechnice Szczecińskiej, a dotyczyły najpierw badań poziomu techniki światowej, potem budowy doświadczalnych podwodnych aparatów bezzałogowych. Zwieńczeniem prac było opracowanie projektów załogowych pojazdów głębinowych, których budowa uzależniona była od zamówień państw Bloku Wschodniego. Zmiany polityczno-ekonomiczne spowodowały zaniechanie kontynuacji prac.

Słowa kluczowe: technologia podwodna, pojazdy podwodne, załogowe pojazdy podwodne.

В статье представлены развитие и масштабы исследовательской работы в ранний период интереса к подводным технологиям в Польше в 1980-х годах. Исследования проводились в тогдашнем Щецинском Технологическом Университете и касались сначала исследований уровня мировых технологий, а затем и строительства опытных необитаемых подводных аппаратов. Работы завершились разработкой проектов обитаемых подводных аппаратов, строительство которых зависело от заказов стран Восточного блока. Политические и экономические изменения привели к прекращению работ.

Ключевые слова: подводные технологии, подводные аппараты, обитаемые подводные аппараты.

In diesem Beitrag werden die Entwicklung und der Umfang der Forschungsarbeiten in der frühen Phase des Interesses an der Tiefseetechnologie in Polen in den 1980er Jahren dargestellt. Die Forschungsarbeiten wurden an der damaligen Technischen Universität Szczecin (Stettin) durchgeführt und betrafen zunächst die Untersuchung des weltweiten Stands der Technik, gefolgt vom Bau experimenteller unbemannter Unterwasserfahrzeuge. Die Arbeit gipfelte in der Entwicklung von Entwürfen für bemannte Tiefseefahrzeuge, deren Bau von Aufträgen aus Ostblockländern abhing. Die politischen und wirtschaftlichen Veränderungen führten dazu, dass die Arbeit eingestellt wurde.

Schlüsselwörter: Unterwassertechnik, Unterwasserfahrzeuge, bemannte Unterwasserfahrzeuge.

En el artículo se ha presentado el desarrollo de los trabajos de investigación en el periodo inicial de interés por la técnica de aguas profundas en Polonia en los años 80. Los estudios se llevaron a cabo en aquel tiempo en la Universidad Politécnica de Szczecin y hacían referencia inicialmente a estudios del nivel de la técnica mundial y a continuación a la construcción de vehículos subacuáticos no tripulados experimentales. Los trabajos finalizaron con el desarrollo de proyectos de vehículos de aguas profundas tripulados, cuya construcción dependía de los encargos de los países del bloque oriental. Los cambios políticos y económicos provocaron que los trabajos no continuasen.

Palabras clave: tecnología subacuática, vehículos subacuáticos, vehículos subacuáticos tripulados.

ARTICLE INFO

PoHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 21 – 34

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0014

Pages: 14, figures: 7, tables: 6

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

Typ artykułu: przeglądowy
Review article

Termin nadesłania: 15.03.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 12.04.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Lata osiemdziesiąte ubiegłego wieku to okres zainteresowania ośrodków naukowych i przemysłowych Szczecina techniką głębinową, co wiązało się możliwościami pozyskiwania bogactw naturalnych z dna morskiego (konkrecje polimetaliczne na dnie Oceanu Spokojnego) oraz zaangażowania przemysłu stoczniowego (Stocznia Szczecińska im. Adolfa Warskiego) w budowę urządzeń oceanotechnicznych dla polskiej Marynarki Wojennej i armatora radzieckiego.

Prace badawcze obejmujące badania teoretyczne, a wkrótce także budowę aparatów głębinowych, badania modelowe, poligonowe i aplikacyjne podjęto również w ówczesnym Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej (od 1991 r. – Wydział Techniki Morskiej, od 2011 r. – Wydział Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie). Prace te zaowocowały zaprojektowaniem i budową rodziny pojazdów głębinowych oraz wyposażenia do prac pod wodą, Tabela 1.

W początkowym okresie intensywnego rozwoju wiedzy w obszarze budowy aparatów głębinowych (umownie lata 1979-1990), przypadającym na czas embargo na udostępnianie zaawansowanej zachodnioeuropejskiej i amerykańskiej techniki podwodnej, kierunki badań (realizowanych także w ośrodkach naukowych Trójmiasta) obejmowały identyfikację problemów projektowania i aplikacji pojazdów głębinowych oraz metodykę projektowania systemów głębinowych, [1,2,3,4].

INTRODUCTION

The 1980s was a period of interest in underwater technology among the scientific and industrial centres of Szczecin, which was associated with the possibilities of extracting natural resources from the seabed (polymetallic nodules at the bottom of the Pacific Ocean) and the involvement of the shipbuilding industry (The Adolf Warski Szczecin Shipyard) in the construction of ocean engineering equipment for the Polish Navy and a Soviet shipowner.

Research work including theoretical studies and soon also deep-sea apparatus construction, model, field and application studies was also undertaken at the then Shipbuilding Institute of the Szczecin University of Technology (since 1991 – Faculty of Marine Technology, since 2011 – Faculty of Maritime Technology and Transport of the West Pomeranian University of Technology in Szczecin). This work led to the design and construction of a family of deep-sea vehicles and equipment for underwater operations, Table 1.

In the initial period of intensive development of knowledge in the area of deep-sea apparatus construction (conventionally the years 1979-1990), coinciding with the embargo on providing access to advanced Western European and American submersible technology, the directions of research (carried out also in the scientific centres of the Tricity) included the identification of problems of deep-sea vehicle design and application and the methodology of designing deep-sea systems, [1,2,3,4].

Tab. 1

Deep-sea vehicle system designs at the Faculty of Marine Technology.

Pojekty systemów pojazdów głębinowych na Wydziale Techniki Morskiej.

No.	System name	Vehicle name	Vehicle characteristics	dimensions [mm] propellers weight [kg]	Period of development/ research
			working depth [m] shape/form purpose		
1*	SPG	<i>AITS</i>	10 PVC frame construction badania kontroli ruchu	1480x830x750 6 propellers 55	1979-1986 experimental vehicle
2*	SPG	<i>MUNA-400</i>	400 torpedo shape inspection	2500x1000x1000 8 propellers 500	1985-1990 experimental vehicle
3*	SPG	<i>MUNA-6000</i>	6000 torpedo shape inspection	2500x1000x1000 8 propellers	1988-1990 design
4	BZSPG	<i>NUR</i>	300 frame construction research equipment underwater works	4500x2500x2700 7 propellers 6200/7700	1986-1990 design subsystems model 1:2
5	SPZ	<i>PAO-100</i>	100 cylindrical observation	1200x1200x1900 2 propellers 970	1987 design

No.	System name	Vehicle name	Vehicle characteristics		Period of development/research
			working depth [m] shape/form purpose	dimensions [mm] propellers weight [kg]	
6	NPG	<i>NPG 600</i>	600 frame construction sphere + cylinder research and working equipment	8800x3000x4400 6 propellers 27600	1989 design model 1:10
7	NPG	<i>NPG 600/300</i>	600/300 frame construction sphere + cylinder research and working equipment	7700x3300x3800/4550 6 propellers 25825/26125	1990 design model 1:10
8	MZSPG	<i>TUM-600</i>	600 drop shape observation	1000x800x630 4 propellers 82	1990 design

*- without the participation of the author; other systems with participation of the author as chief designer.

* - bez udziału autora; pozostałe systemy przy współudziale autora jako głównego projektanta.

OBZAR I ZAKRES PRAC BADAWCZYCH W DZIEDZINIE TECHNIKI GŁĘBINOWEJ

Prace badawcze dotyczyły początkowo bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych (BZSPG), których gwałtowny rozwój na świecie nastąpił właśnie w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku, tj. w okresie dynamicznego podboju światowego oceanu przez eksploatorów złóż ropy naftowej i gazu oraz innych bogactw naturalnych, a także dla zastosowań militarnych.

Wykonano również projekty innych typów pojazdów głębinowych i urządzeń zanurzalnych, w tym pojazdów załogowych, które zawierały elementy zadań projektowych charakterystycznych dla systemu BZSPG.

POJAZD PODWODNY AiTS

Pojazd podwodny AiTS to pierwszy doświadczalny zdalnie sterowany aparat zbudowany i badany w ówczesnym Instytucie Okrętowym, Fot. 1, Tabela 2, [3]. Aparat posiadał konstrukcję ramową, pięć pędników, układ stabilizacji głębokości, akumulator umieszczony w pojeździe. Budowa i badania dotyczyły dynamiki ruchu pojazdów ramowych pod wodą oraz doboru automatycznych sterowników ruchu.

Realizacja w Zakładzie Automatyki i Teorii Systemów w Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej: grant naukowo-badawczy Ministerstwa Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki pn. „Pojazd AiTS”, lata 1979-1986.

Zespół Badawczy: Andrzej Piegat, Mariusz Matejski, Władysław Skórski, Jerzy Sołdek, Piotr Wandrey.

AREA AND SCOPE OF RESEARCH WORK IN THE FIELD OF DEEP-SEA TECHNOLOGY

The research work was initially concerned with unmanned remotely operated deep-sea vehicles (BZSPGs), which were developing rapidly in the world during the 1980s, a period of rapid conquest of the world's ocean by exploiters of oil and gas and other natural resources, as well as for military applications.

Designs were also made for other types of deep-sea vehicles and submersible devices, including manned vehicles, which incorporated elements of design tasks specific to the BZSPG system.

THE AiTS UNDERWATER VEHICLE

The AiTS underwater vehicle was the first experimental remotely operated apparatus built and tested at the then Shipbuilding Institute, Fig. 1, Table 2, [3]. The apparatus had a frame structure, five propellers, a depth stabilisation system, and a battery located in the vehicle. The construction and testing involved the dynamics of frame vehicle motion underwater and the selection of automatic motion controllers.

Realised in the Department of Automation and Systems Theory at the Shipbuilding Institute of the Szczecin University of Technology: a research grant from the Ministry of Science, Higher Education and Technology entitled "The AiTS Vehicle," 1979-1986.

Research team: Andrzej Piegat, Mariusz Matejski, Władysław Skórski, Jerzy Sołdek, Piotr Wandrey.

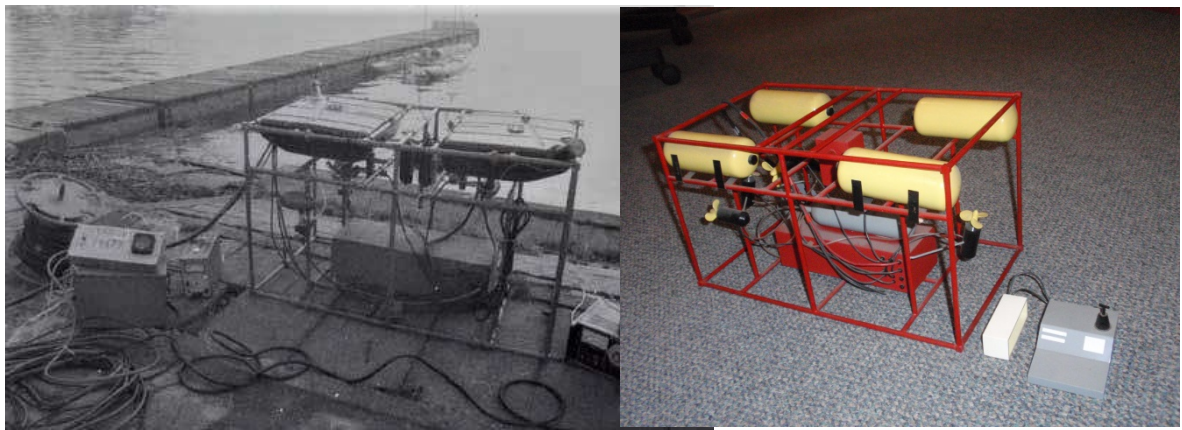


Fig. 1 Experimental underwater vehicle *AITS-1* during trials at Lake Dąbskie (1982) and the model of vehicle *AITS-2*.

Rys. 1 Doświadczalny pojazd podwodny *AITS-1* w trakcie prób nad Jeziorem Dąbskim (1982 r.) i model pojazdu *AITS-2*.

Tab. 2

AITS-1 – technical characteristics.

AITS-1 – charakterystyka techniczna.

No.	Specification	Description
1	Weight [kg]	55
2	Dimensions [mm]	1700x900x800
3	Working depth [m]	10
4	Propellers – configuration	2 longitudinal, 2 transverse, 2 vertical
5	Speed [m/s]	0.2 – longitudinal, 0.15 – transverse
6	Power supply voltage [V]	12 DC

POJAZD GŁĘBINOWY *MUNA 400*

Podwodny zdalnie sterowany nośnik aparatury *MUNA-400* przeznaczony był do inspekcji dna morskiego, konstrukcji oceanotechnicznych, lokalizacji uszkodzeń konstrukcji, poszukiwania obiektów i ich identyfikacji, Rys. 2, Tabela 3, [5]. Pojazd umożliwiał zdalną obserwację obiektów zlokalizowanych w toni wodnej za pomocą kamer TV i rejestrację obrazu. Wyposażony był w system automatycznej stabilizacji głębokości, wysokości nad dnem, przechyłu i przegłębienia oraz prędkości postępowej.

Realizacja w Zakładzie Automatyki i Teorii Systemów w Instytucie Okrętowym: Projekt Badawczy CPBR 9.5 Cel 26 pn. „Zdalnie sterowany nośnik aparatury do pracy na głębokości do 400 m”, lata 1985-1990.

Zespół Badawczy: Mariusz Matejski, Władysław Skórski, Andrzej Ruciński.

UNDERWATER VEHICLE *MUNA 400*

The *MUNA-400* underwater remotely operated carrier of works devices was designed for inspection of the seabed, oceanographic structures, locating damage to structures, searching for objects and identifying them, Fig. 2, Table 3, [5]. The vehicle allowed remote observation of objects located in the water depth by means of TV cameras and image recording. It was equipped with a system for automatic depth, height above the bottom, heel and trim and progressive speed stabilisation.

Realised in the Department of Automation and Systems Theory at the Shipbuilding Institute: CPBR Research Project 9.5 Objective 26 entitled 'Remotely controlled underwater works devices carrier for operation at depths up to 400 m,' 1985-1990.

Research team: Mariusz Matejski, Władysław Skórski, Andrzej Ruciński.

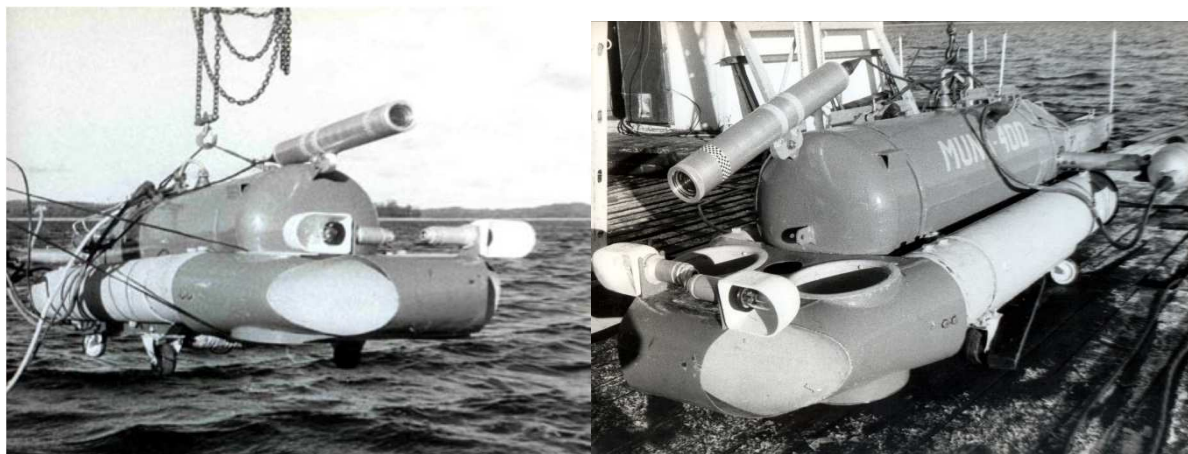


Fig. 2 MUNA-400 underwater carrier during surveys on Lake Ińsko.

Rys. 2 Nośnik podwodny MUNA-400 w trakcie badań na Jeziorze Ińsko.

Tab. 3

MUNA 400 – technical characteristics.

MUNA 400 – charakterystyka techniczna.

No.	Specification	Description
1	Weight [kg]	500
2	Dimensions [mm]	2500x1000x1000
3	Working depth [m]	400
4	Propellers – configuration	2 longitudinal, 2 transverse, 4 vertical
6	Speed [m/s]	3 – longitudinal, 1 – transverse and vertical
7	Power requirements [kW]	5

PODWODNY NOŚNIK APARATURY MUNA 6000

W związku z planowaną eksploatacją złóż koncentracji polimetalicznych z dna Oceanu Spokojnego przez konsorcjum Interoceanmetal podjęto w roku 1988 decyzję o adaptacji będącego w trakcie prób funkcjonalnych nośnika podwodnego MUNA-400 do pracy na głębokości do 6000 m.

System wyposażony był w garaż pełniący funkcję obciążnika kabloliny ciężkiej, stacji pośredniej systemów zasilania i transmisji sygnałów oraz pojemnika dla nośnika podwodnego podczas jego opuszczania, podnoszenia i holowania w toni wodnej. Pojazd połączony był z garażem kabloliną lekką. Wyposażony był w system trymujący, system awaryjnego podnoszenia, ręczny i automatyczny system sterowania ruchem, system stabilizacji głębokości, przechyłów i przegłębień. W systemie obserwacji telewizyjnej zastosowano trzy kamery monochromatyczne, umożliwiające obserwację z odległości 4-6 m oraz 8 reflektorów. Dwa układy obserwacji umieszczono w nośniku MUNA-6000, a jeden na garażu.

Realizacja w Zakładzie Automatyki i Teorii Systemów w Instytucie Okrętowym, lata 1988-1990. Projekt zamknięto po zmianach partnerskich w konsorcjum Interoceanmetal.

Zespół Badawczy: Władysław Skórski, Lech Tołkacz.

UNDERWATER WORKS DEVICES CARRIER MUNA 6000

In connection with the planned exploitation of polymetallic nodule deposits from the bottom of the Pacific Ocean by the Interoceanmetal Consortium, a decision was taken in 1988 to adapt the MUNA-400 underwater carrier, which was undergoing functional testing, to operate at depths of up to 6000 m.

The system was equipped with a garage that served as a ballast for the heavy umbilical cable, an intermediate station for power and signal transmission systems, and a container for the underwater carrier during its lowering, raising and towing in the depths. The vehicle was connected to the garage by a light umbilical cable. It was equipped with a trim system, an emergency lifting system, a manual and automatic motion control system, a depth, roll and trim stabilisation system. The television observation system featured three monochrome cameras, allowing observation from a distance of 4-6m, and eight floodlights. Two observation systems were located in the MUNA-6000 carrier and one on the garage.

Implemented in the Department of Automation and Systems Theory at the Shipbuilding Institute, 1988-1990. Project terminated after partner changes in the Interoceanmetal Consortium.

Research team: Władysław Skórski, Lech Tołkacz.

NOŚNIK URZĄDZEŃ ROBOCZYCH *NUR*

Nośnik urządzeń roboczych *NUR* przeznaczony był do wspierania prac głębinowych prowadzonych przez nurków oraz do zadań bez ich udziału, m. in. inspekcji, poszukiwań, transportu elementów, prostych prac podwodnych, [6]. W zadaniach samodzielnych pojazd mógł być stosowany jako uniwersalne narzędzie inspekcyjne przestrzeni wodnej, dna i konstrukcji podwodnych. Pojazd jako podwodny warsztat dla nurka był wyposażony w zestaw narzędzi hydraulicznych, [7], w skład którego wchodziły: wciągarka, rozpieracz, ściągacz, klucz, szlifierka, wiertarka, przecinaki do lin i kabli oraz platforma-siedzisko dla nurka na hydraulicznym wysięgniku, a także opcjonalnie moduł spawalniczy, ultradźwiękowy defektoskop i eżektor do wypłukiwania gruntu, Rys. 3, Tabela 4.

Efektom prac badawczych był projekt techniczny pojazdu i projekt roboczy większości urządzeń oraz budowa znacznej części podsystemów pojazdu, Fot. 4, tj.: stalowej nośnej ramy konstrukcyjnej, testowanej następnie w Laboratorium Zakładu Konstrukcji i Mechaniki Okrętów Politechniki Szczecińskiej, zestawu silników elektrycznych dla elektrohydraulicznego systemu napędowego, reflektorów, oświetlenia, monochromatycznej kamery telewizyjnej, windy transportowej, zestawu narzędzi hydraulicznych (prototypy większości narzędzi oraz 4 komplety użytkowe dla armatora z ZSRR).

WORK EQUIPMENT CARRIER - *NUR*

The *NUR* work equipment carrier was designed to support underwater work carried out by divers and for tasks without their participation, including inspection, search, transport of components, simple underwater work, [6]. In autonomous tasks, the vehicle could be used as a versatile inspection tool for water space, bottom and underwater structures. As an underwater workshop for the diver, the vehicle was equipped with a set of hydraulic tools, [7], which included a winch, spreader, puller, spanner, grinder, drill, rope and cable cutters and a platform-seat for the diver on a hydraulic extension arm, as well as an optional welding module, ultrasonic defectoscope and ground flushing ejector, Fig. 3, Table 4.

The research resulted in the technical design of the vehicle and the working design of most of the equipment, as well as the construction of a significant part of the vehicle's subsystems, Fig. 4, i.e.: the steel load-bearing structural frame, subsequently tested in the Laboratory of the Ship Construction and Mechanics Department of the Szczecin University of Technology, a set of electric motors for the electrohydraulic propulsion system, floodlights, lighting, a monochrome TV camera, a transport lift, a set of hydraulic tools (prototypes of most of the tools and 4 usable sets for a shipowner from the USSR).

Tab. 4

Technical characteristics of the *NUR* work equipment carrier.

Charakterystyka techniczna nośnika urządzeń roboczych *NUR*.

No.	Specification	Description
1	Weight [kg]	6200
2	Dimensions [mm]	4500x2500x2700
3	Metacentric height [mm]	500
3	Working depth [m]	300
4	Speed – direction [m/sec]	1,5 – longitudinal, 1,0 – transverse and vertical
5	Load-bearing structure	rectangular steel frame
6	Propellers, configuration	7 hydraulic propellers, each with a power of 15 kW 4 inclined in the horizontal plane, 3 vertical
7	Power supply	3*380 V, 50 Hz
8	Equipment	TV camera, floodlights, sonar grab – opening 400÷1400 mm lift – lifting capacity 300 N 6-function manipulator – lifting capacity 600 N, reach 2 m, diving platform – reach 5 m welding module hydraulic tool kit ultrasonic defectoscope ground ejector

Zbudowano także model pojazdu w skali 1:2, Fot. 3, który poddano badaniom w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu w Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku w celu wyznaczenia charakterystyk oporowych i statecznościowych pojazdu.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów w Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej: Projekt Badawczy CPBR 9.5 Cel 23 pn. „Nośnik (typu David) narzędzi/urządzeń technologicznych do prac pod wodą”, lata 1986-1990.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Jan Dutkiewicz, Tadeusz Jastrzębski, Andrzej Kaczmarek, Stefan Kępski, Mirosław Małecki, Krzysztof Piotrowski, Eugeniusz Skrzymowski, Henryk Szymański, Włodzimierz Wnuk.

A 1:2 scale model of the vehicle was also built, Photo 3, which was tested at the Ship Hydromechanics Centre at the Ship Design and Research Centre in Gdańsk to determine the vehicle's resistance and stability characteristics.

Implemented at the Ship Technology Department of the Shipbuilding Institute of the Szczecin University of Technology: CPBR Research Project 9.5 Objective 23 entitled “Carrier (David type) of technological tools/equipment for underwater works,” 1986-1990.

Research team: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Jan Dutkiewicz, Tadeusz Jastrzębski, Andrzej Kaczmarek, Stefan Kępski, Mirosław Małecki, Krzysztof Piotrowski, Eugeniusz Skrzymowski, Henryk Szymański, Włodzimierz Wnuk.

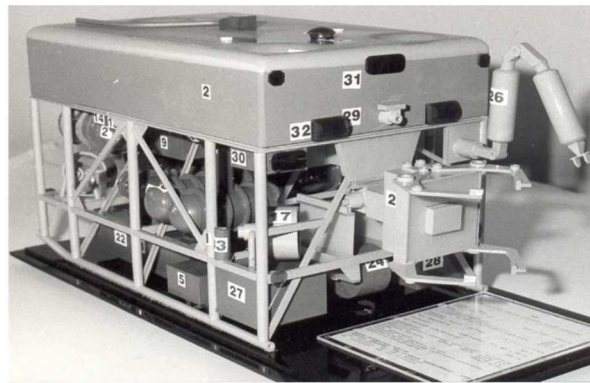


Fig. 3 The *NUR* work equipment carrier – 1:2 scale model for resistance testing and 1:10 scale vehicle model showing equipment layout.

Rys. 3 Nośnik urządzeń roboczych *NUR* – model w skali 1:2 dla badań oporowych oraz model pojazdu w skali 1:10 prezentujący rozmieszczenie wyposażenia.



Fig. 4 The *NUR* work equipment carrier components: lift and electric motor of the drive system.

Rys. 4 Nośnik urządzeń roboczych *NUR* podzespoły: winda i silnik elektryczny układu napędowego.

Na skutek braku dalszego finansowania prace projektowe i budowa zostały przerwane w 1990 r., jednakże zbudowane podzespoły i urządzenia znalazły zastosowanie w prowadzonych później pracach badawczych, a także wykorzystywane były podczas usługowych prac nurkowych pod wodą. Realizacja projektu przyczyniła się również do identyfikacji problemów projektowania, budowy i aplikacji pojazdów głębinowych. Wiedza ta umożliwiła podjęcie przez zespół badawczy dalszych śmiałych zadań w zakresie projektowania bezałogowych i załogowych pojazdów głębinowych.

PODWODNY APARAT OBSERWACYJNY PAO-100

Projekt podwodnego aparatu obserwacyjnego *PAO-100*, Rys. 5, zakładał pobyt obserwatora na głębokości 100 m, [8]. Jakkolwiek jest to obiekt załogowy, to zagadnienia teoretyczne dotyczące pływalności, stateczności, wytrzymałości konstrukcji, sterowania ruchem są charakterystyczne dla pojazdów głębinowych w ogólności, także dla BZSPG, co umożliwiło wykorzystanie w tym projekcie doświadczeń zdobytych przy projektowaniu systemu pojazdu *NUR*. Jednocześnie badania dotyczące systemu podtrzymania życia w aparacie pozwoliły na podjęcie następnych zadań, jakimi były bardziej zaawansowane projekty nurkowych pojazdów głębinowych *NPG*.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów w Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej, rok 1987.

Zespół Badawczy: Leszek Bednarski, Tadeusz Graczyk, Marian Kukliński, Krzysztof Piotrowski.

As a result of a lack of further funding, the design and construction work was discontinued in 1990, however, the components and equipment built were used in later research work and also in service underwater diving works. The project implementation contributed to the identification of problems in the design, construction and application of deep-sea vehicles. This knowledge enabled the research team to undertake further tasks in the design of unmanned and manned deep-sea vehicles.

UNDERWATER OBSERVATION DEVICE PAO-100

The design of the *PAO-100* underwater observation vehicle, Fig. 5, assumed a stay at a depth of 100 m, [8]. Although it is a manned object, the theoretical issues of buoyancy, stability, structural strength, motion control are characteristic of deep-sea vehicles in general, including the BZSPG, which made it possible to use the experience gained in the design of the *NUR* vehicle system in this project. At the same time, research into the life support system of the apparatus allowed more advanced designs of deep-sea diving *NPG* vehicles to be undertaken as the next task.

Realised at the Ship Technology Department of the Ship Institute of the Szczecin University of Technology, 1987.

Research team: Leszek Bednarski, Tadeusz Graczyk, Marian Kukliński, Krzysztof Piotrowski.

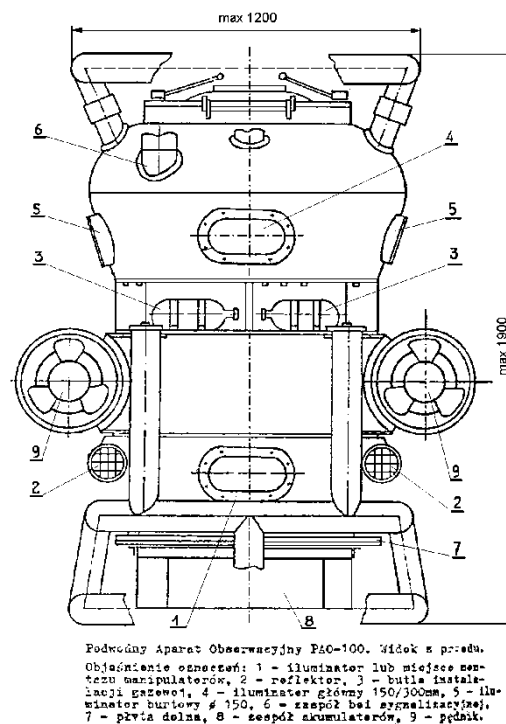


Fig. 5 Underwater observation device *PAO-100*, front view.

Fig. 5 Podwodny aparat obserwacyjny *PAO-100*, widok z przodu.

NURKOWE POJAZDY GŁĘBINOWE NPG-600 I NPG-600/300

Na gruncie współpracy ze Stoczną Szczecińską oraz doświadczeń w budowie komór hiperbarycznych opracowano dwa projekty nurkowego pojazdu głębinowego przeznaczonego do transportu nurków, wykonywania przez nich prac i ich nadzorowania w toni wodnej, [9]. Załogę pojazdów stanowiło dwóch pilotów-operatorów w przedziale dowodzenia i trzech nurków w przedziale roboczym. Możliwe były też zadania obserwacyjne przeprowadzane przez pilotów z kabiny nawigacyjnej, bez udziału nurków. Dla celów obserwacyjnych oraz penetrowania trudno dostępnych i niebezpiecznych przestrzeni pojazd NPG wyposażony był w miniaturowy pojazd obserwacyjny TUM, którego projekt omówiono poniżej.

Projekt NPG-600 wykonany był w zakresie koncepcyjno-ofertowym. Obejmował cztery wersje pojazdu składającego się z dwóch przedziałów hiperbarycznych w kształcie kuli lub kuli i cylindra, wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości.

Projekt NPG-600/300 wykonany był na poziomie ofertowym. Prezentował pojazd zawierający dwa przedziały – sferyczny dla pilotów i cylindryczny dla nurków – wykonane opcjonalnie ze stali o podwyższonej wytrzymałości lub tytanu.

Projekty realizowane były w zespole pracowników Zakładu Technologii Okrętów i Stoczni Szczecińskiej im. A. Warskiego, Rys. 6, Tabela 5. Autor pełnił funkcje głównego projektanta w zakresie koordynacji prac, opracowania konfiguracji pojazdu, obliczeń ogólnoprojektowych, a także obliczeń szczegółowych dotyczących zrównoważenia pojazdu, właściwości oporowych i manewrowych, prognozy charakterystyk napędowych pędników pojazdu. Opracował także program badań modelowych pojazdu w Ośrodku Hydromechaniki Okrętu w Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku dla modelu pojazdu, Fot. 7.

DIVING UNDERWATER VEHICLES NPG-600 AND NPG-600/300

As a result of cooperation with the Szczecin Shipyard and experience in the construction of hyperbaric chambers, two designs were developed for a deep-sea diving vehicle intended for the transport of divers, their work and their supervision in the water depths, [9]. The vehicles were crewed by two pilot-operators in the command compartment and three divers in the working compartment. Observation tasks carried out by the pilots from the navigation cabin, without the divers, were also possible. For observation and penetration of hard-to-access and dangerous spaces, the NPG vehicle was equipped with a miniature TUM observation vehicle, the design of which is discussed below.

The design of the NPG-600 was executed in the conceptual and quotation scope. It included four versions of a vehicle consisting of two hyperbaric compartments in the shape of a sphere or sphere and cylinder, made of high-strength steel.

The NPG-600/300 design was executed at a quotation level. It presented a vehicle containing two compartments – a spherical compartment for pilots and a cylindrical compartment for divers-- made optionally of high-strength steel or titanium.

The projects were carried out in the team of employees of the Ship Technology Department and A. Warski Shipyard, Fig. 6, Table 5. The author acted as the chief designer with respect to co-ordination of works, development of the vehicle configuration, general design calculations, as well as detailed calculations concerning vehicle balancing, resistance and manoeuvrability properties, propulsion characteristics prediction of the vehicle propellers. He also developed a programme of model tests of the vehicle at the Ship Hydromechanics Centre at the Ship Design and Research Centre in Gdańsk for the vehicle model, Fig. 7.

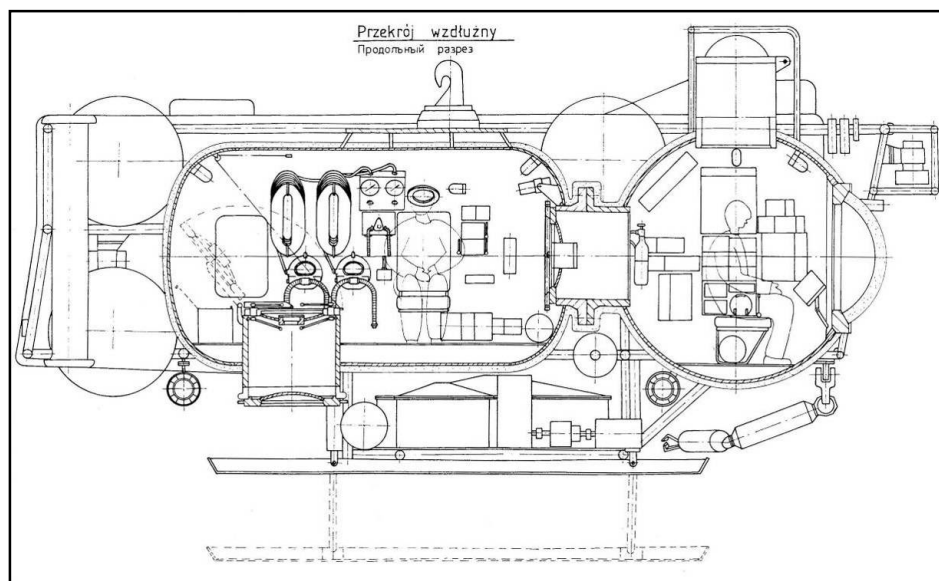


Fig. 6 NPG-600/300 deep-sea diving vehicle – cross-section in the plane of symmetry through the diving and command compartments.

Rys. 6 Nurkowy pojazd głębinowy NPG-600/300 – przekrój w płaszczyźnie symetrii przez przedział nurkowy i przedział dowodzenia.

Technical characteristics of *NPG-300* and *NPG-600/300* vehicles.

Charakterystyki techniczne pojazdów *NPG-300* i *NPG-600/300*.

No.	Specification		<i>NPG-600</i>	<i>NPG-600/300</i>
1	Weight	[kg]	27600	25825 or 26125
2	Dimensions	[mm]	8800x3000x4400	7700x3300x3800/4550
3	Metacentric height	[mm]	400	300
4	Working depth	[m]	600	600/300
5	Cruise speed [m/sec]		1.4 – ascent, 1.2 – descent	
6	Load-bearing structure		rectangular steel frame	
7	Crew compartments		sphere + drum steel	sphere + drum titanium or steel
8	Propellers, configuration		6 screw propellers in the nozzle electric DC motors, each 15 kW, two longitudinal, transverse and vertical	
9	Power supply		electro-hydraulic drive system 110 V, 16 MPa 2 DC electric motors 9.5 kW each	
10	Equipment		2 TV cameras, 2 photo cameras, floodlights, 6-function manipulator – lifting capacity 500 N, reach 1150 mm, manipulator-grab 10 kN, 1600 mm, hydraulic tool kit, measuring and control apparatus, miniature camera – TV camera carrier	
9	Reach	[m]	5200	7000
Z	Autonomy	[h]	10	10

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów w Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej: Projekt Badawczy CPBR 9.2 Zadanie 27.09.01 pn. „Autonomiczny pojazd podwodny z wyjściem nurków”, lata 1989-1990.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Jerzy Grześkowiak, Marian Kukliński, Jerzy Minkowski, Eugeniusz Skrzymowski.

Carried out at the Ship Technology Department of the Shipbuilding Institute of the Szczecin University of Technology: Research Project CPBR 9.2 Task 27.09.01 entitled “Autonomous submersible vehicle with divers’ exit,” 1989-1990.

Research team: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Jerzy Grześkowiak, Marian Kukliński, Jerzy Minkowski, Eugeniusz Skrzymowski.



Fig. 7 Model of deep-sea diving vehicle *NPG 600/300* in 1:10 scale.

Rys. 7 Model nurkowego pojazdu głębinowego *NPG 600/300* w skali 1:10.

TRANSPORTER MONITORUJĄCYCH *TUM-600*

URZĄDZEŃ

We współpracy Zakładu Technologii Okrętów z Przedsiębiorstwem Projektowo-Usługowym "SUBMAR" w Gdyni, skupiającym m.in. specjalistów z Akademii Marynarki Wojennej, powstał projekt miniaturowego pojazdu obserwacyjnego, zwanego transporterem urządzeń monitorujących *TUM-600*, Rys. 8, Tabela 6. Przeznaczeniem pojazdu było zastosowanie go jako narzędzia obserwacyjnego dla nurków i pilotów pojazdów głębinowych NPG w celu zdalnego penetrowania wraków i innych trudno dostępnych bądź niebezpiecznych obiektów.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów w Instytucie Okrętowym Politechniki Szczecińskiej, rok 1990.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Bartłomiej Jakus, Eugeniusz Skrzymowski, Antoni Wiliński, Ryszard Wróbel.

TUM-600 MONITORING EQUIPMENT TRANSPORTER

The cooperation between the Ship Technology Department and the SUBMAR Design and Service Company in Gdynia, bringing together, among others, specialists from the Naval Academy, resulted in the design of a miniature observation vehicle, called the *TUM-600* monitoring equipment transporter, Fig. 8, Table 6. The vehicle was intended as an observation tool for divers and NPG deep-sea vehicle pilots to remotely penetrate wrecks and other inaccessible or dangerous objects.

Realised at the Ship Technology Department of the Ship Institute of the Szczecin University of Technology, year 1990.

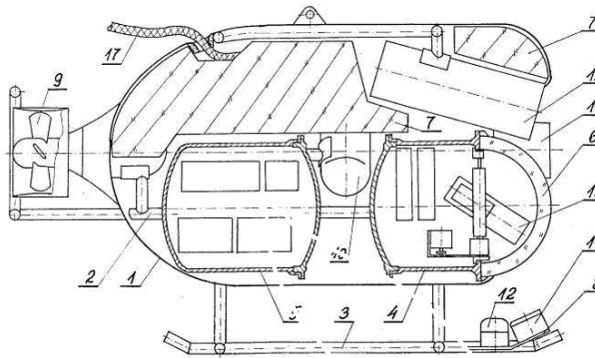
Research team: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Bartłomiej Jakus, Eugeniusz Skrzymowski, Antoni Wiliński, Ryszard Wróbel.

Tab. 6

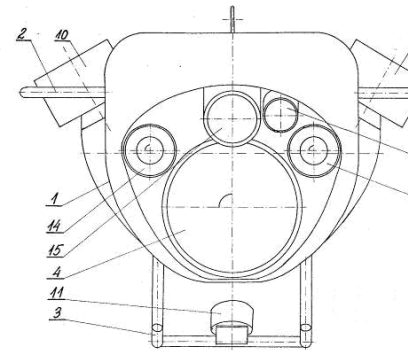
Technical characteristics of *TUM-600* vehicle.

Charakterystyka techniczna pojazdu *TUM-600*.

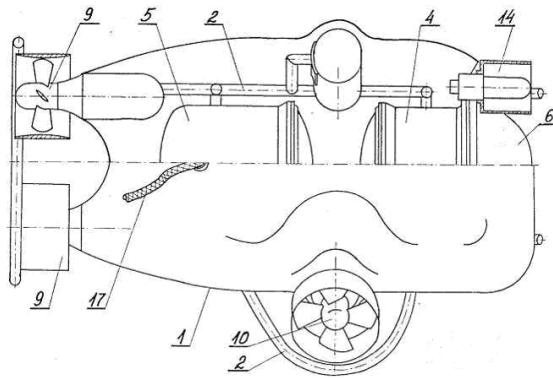
No.	Specification	Description
1	Weight [kg]	82
2	Dimensions [mm]	1000x800x630 mm
3	Working depth [m]	600
3	Metacentric height [mm]	40
4	Speed [m/sec]	1,5
5	Hull shape, construction	drop shape, framework - aluminium tubes, pressure vessels - steel, floats - syntactic foam
6	Propellers, configuration	2 longitudinal, 2 inclined in transverse plane
7	Power supply	220 V/50Hz
8	Equipment	monochrome TV camera with vertical tilt mechanism, 2 floodlights, camera and flash, compass, depth gauge



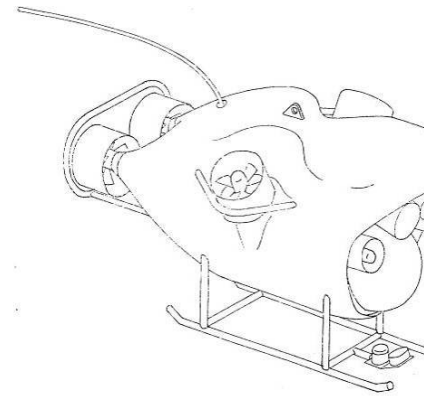
Cross-section in the plane of symmetry



Front view



Top view



General view

- | | | |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 - hull cover | 7 - buoyancy element | 13 - tv camera |
| 2 - support frame | 8 - bracket | 14 - floodlight |
| 3 - skid | 9 - longitudinal propeller | 15 - photo camera |
| 4 - tv camera container | 10 - inclined shaft propeller | 16 - flash |
| 5 - power pack container | 11 - depth gauge | 17 - umbilical cable |
| 6 - acrylic window | 12 - compass | |

Fig. 8. TUM-600 monitoring equipment transporter.

Rys. 8 Transporter urządzeń monitorujących TUM-600.

PODSUMOWANIE

Pierwszy okres prac badawczych w dziedzinie techniki głębinowej umożliwił rozpoznanie problemów teoretycznych i technicznych dotyczących pojazdów głębinowych.

Zbudowano doświadczalny aparat podwodny *AiTS* i rozpoznano problemy zdalnego sterowania. Zaprojektowano i zbudowano pojazd *MUNA* rozwiązujący problemy techniczne związane z zapewnieniem szczelności aparatu pod wysokim ciśnieniem, problemy zaopatrzenia energetycznego, komunikacji i sterowania. Zaprojektowano pojazd *NUR* do współpracy z nurkiem, opracowano i zbudowano prototypy istotnych elementów wyposażenia pojazdu.

Podjęto też prace projektowe nad pojazdami załogowymi *PAO* i *NPG*, które mogłyby się znaleźć w ofercie Stoczni Szczecińskiej, w której budowano już inne obiekty wysokociśnieniowe, a mianowicie komory hiperbaryczne dla nurków [10]. System podtrzymania życia w pojazdach stanowił ważniejszy element systemu. Na tym polu zawiązała się bliska współpraca Uczelni i Stoczni.

Wprowadzcie prace nad pojazdami załogowymi nie wyszły poza etap projektowy, to wiedza i doświadczenie zdobyte w trakcie projektowania wykorzystane zostały podczas budowy innych systemów głębinowych i ich eksploatacji, także z udziałem nurków.

Dalsze prace badawcze nad pojazdami głębinowymi, obejmujące projektowanie, budowę i aplikację systemów pojazdów bezzałogowych, będą tematem osobnego opracowania pt. „Pojazdy głębinowe w pracach badawczych uczelni szczecińskich – systemy i aplikacje”.

CONCLUSION

The first period of research work in the field of deep-sea technology allowed for the identification of theoretical and technical problems concerning deep-sea vehicles.

An experimental *AiTS* underwater apparatus was built and the problems of remote control were discerned. Furthermore, the *MUNA* vehicle was designed and built, solving technical problems related to ensuring the integrity of the apparatus under high pressure, problems of power supply, communication and control. The *NUR* vehicle was designed to cooperate with a diver, and prototypes of the vehicle's essential equipment were developed and built.

Design work was also undertaken on *PAO* and *NPG* manned vehicles that could be included in the range offered by the Szczecin Shipyard, which was already developing other high-pressure facilities, i.e. hyperbaric chambers for divers [10]. The vehicle life support system constituted a more important part of the system. In this field, close cooperation was established between the University and the Shipyard.

Although the work on manned vehicles did not progress beyond the design stage, the knowledge and experience gained during the design process was used in the construction of other deep-sea systems and their operation, including those involving divers.

Further research work on deep-sea vehicles, including the design, construction and application of unmanned vehicle systems, will be the subject of a separate paper entitled "Remotely operated underwater vehicles in the research work of Szczecin universities – systems and applications".

REFERENCES

1. Graczyk T.: *Optimisation of power distribution in the operating system of an unmanned remotely operated vehicle*, doctoral thesis, supervisor Anoni Wiliński, Ph.D., Naval Academy, Gdynia, 1992, p. 267.
2. Jastrzębski T.: *Selected problems of design theory of offshore floating structures*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 1994.
3. Piegat A.: *Bewegungsverhalten und automatische Kursteuerung von unbemannten Unterwasserfahrzeugen mit offener Rahmenkonstruktion*, Wilhelm-Pieck Universität, Rostock, 1988.
4. Skrzymowski E.: *Ocean engineering and its development in West Pomerania*, Budownictwo Okrętowe, no. 5/1989, pp. 4-5.
5. Orłowska A., Skórski W., Matejski M.: *Remotely controlled equipment carrier for operation at depths up to 400 m*. 5th Conference "Design and Construction of Ocean Engineering Objects", Komisja Oceanotechniki Sekcji Okrętowców ZG SIMP, Instytut Okrętowy Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 12-13.10.1989, pp. 212-218.
6. Graczyk T.: *Remotely operated vehicle NUR as a sophisticated equipment for ships supporting offshore industry*, proc. of the International Ship Technique Symposium, Wilhelm Pieck University of Rostock, 3-6 October 1989, vol. 4, pp. 381-387.
7. Piotrowski K.: *Research into methods of implementation of selected technological operations associated with the use of mechanised hand tools in the operation of offshore equipment*, doctoral thesis, supervisor Prof. Leszek Pacholski, Poznań University of Technology, 1991.
8. Bednarski L.: *Characteristics of the underwater observation apparatus PAO-100*, Conference "Ergonomics in the maritime economy", Scientific Session "Ergonomic Problems of Underwater Works Technology", Shipbuilding Institute of the Szczecin University of Technology, SIMP, PTE, MOSZ, ODOK, Szczecin, 21-22.04.1988, pp. 67-85.
9. Bednarski L., Graczyk T.: *Diver lock-out submersible of NPG-600 type destined for deep ocean penetration*, proc. of the 5th International Congress on Marine Technology Athens '90, The Hellenic Institute of Marine Technology, Athens, 28-31 May 1990, pp. 196-198.
10. Skrzymowski E.: *A.Warski Szczecin Shipyard - manufacturer and supplier of ocean engineering devices and equipment*, Comecon countries conference, Suzdal, USSR, 27.11-2.12.1988.

Tadeusz Graczyk, PhD, Eng., Associate Professor

Maritime University in Szczecin
Faculty of Navigation
Department of Ocean Engineering and Shipbuilding
t.graczyk@am.szczecin.pl

ORCID 0000-0001-7136-0773



EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL STRESS EXPERIENCED BY DIVERS MAINTAINING AN UPRIGHT POSITION ON THE WATER SURFACE DEPENDING ON THE BUOYANCY CONTROL DEVICE

OCENA OBCIĄŻENIA FIZJOLOGICZNEGO NURKA PODCZAS UTRZYMYWANIA SIĘ W POZYCJI PIONOWEJ NA POWIERZCHNI W ZALEŻNOŚCI OD WYKORZYSTYWANEGO URZĄDZENIA RATUNKOWO — WYPORNOŚCIOWEGO

Aleksandra Żebrowska¹⁾, Piotr Siermontowski²⁾, Rafał Mikołajczyk¹⁾, Marcin Sikora¹⁾, Olga Łakomy¹⁾

¹⁾ Department of Physiological and Medical Sciences Academy of Physical Education Katowice, Poland

¹⁾ Katedra Nauk Fizjologiczno-Medycznych, AWF Katowice

²⁾ Department of Underwater Works Technology, Naval Academy Gdynia, Poland

²⁾ Katedra Technologii Prac Podwodnych, AMW Gdynia

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The knowledge of physiological reactions enabling a diver increasing the functional reserve in a life-threatening situation is not yet complete. It is suggested that the ability to adapt to prolonged stress experienced by divers maintaining an upright position on the water surface is associated with the diver's individual characteristics and the type of the buoyancy control device. The purpose of this study was to perform a preliminary evaluation of physiological variables in divers wearing two different types of buoyancy control device and floating upright at the surface to determine the level of safety offered by each of them. The physiological variables were measured while participants wearing a classical dive vest and a wing dive vest. The oxygen uptake and heart rate measured after 30 minutes of experiment were significantly greater in participants using wing dive vest than classical dive vest. The results confirm the possibility of using physiological indicators to compare the fatigue and rescue function in divers depending on the buoyancy control device type.

Keywords: diving, buoyancy vest, safety, physical performance.

Dotychczas nie w pełni poznane są reakcje fizjologiczne, które wpływają na zdolność utrzymania się w warunkach zanurzenia w wodzie nurków w sytuacji zagrożenia. Sugeruje się, że zdolności przystosowawcze do długotrwałego obciążenia organizmu podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni mogą wynikać z indywidualnych predyspozycji nurka i stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych. Celem badań była ocena obciążenia fizjologicznego nurka w sprzęcie lekkim podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni w zależności od wykorzystywanego urządzenia ratunkowo – wypornościowego. W badanej grupie nurków zmierzono wskaźniki fizjologiczne podczas zanurzenia w wodzie w pozycji pionowej z utrzymaniem twarzy na powierzchni w dwóch różnych kamizelkach ratunkowo – wypornościowych tj.: klasycznej i typu skrzydło. Większe zapotrzebowania na tlen, przyspieszenie rytmu pracy i większe ryzyko obniżenia dostępności tlenu po trzydziestu minutach utrzymywania się na powierzchni wody stwierdzono w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do kamizelki klasycznej. Wyniki badań niniejszej pracy potwierdzają możliwość wykorzystania wskaźników fizjologicznych do oceny funkcji ratunkowej urządzeń wypornościowo-ratunkowych u nurków.

Słowa kluczowe: nurkowanie, kamizelka ratunkowo-wypornościowa, bezpieczeństwo, wydolność fizyczna.

До сих пор физиологические реакции, влияющие на способность водолазов оставаться погруженными в воду в аварийной ситуации, до конца не изучены. Было высказано предположение, что способность приспосабливаться к длительной нагрузке на тело при сохранении вертикального положения на поверхности может быть результатом индивидуальной предрасположенности водолаза и используемых спасательно-перемещающих устройств. Целью исследования была оценка физиологической нагрузки водолаза в легкой экипировке, при нахождении в вертикальном положении на поверхности в зависимости от применяемого спасательно-перемещающего устройства. У исследуемой группы водолазов измеряли физиологические показатели при погружении в воду в вертикальном положении, с лицом на плаву в двух разных спасательно-перемещающих компенсаторах плавучести, т.е. классическом и типа «крыло». Более высокие потребности в кислороде, более быстрый рабочий ритм и больший риск снижения доступности кислорода после тридцатиминутного плавания над поверхностью воды были обнаружены в компенсаторе плавучести типа «крыло» по сравнению с классическим компенсатором плавучести. Результаты данного исследования подтверждают возможность использования физиологических показателей для оценки спасательной функции спасательно-перемещающих устройств у водолазов.

Ключевые слова: погружение, спасательно-перемещающий компенсатор, безопасность, физическая работоспособность.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 35 – 44

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0015

Pages: x, figures: 3, tables: 2

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 15.05.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 17.06.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Bis heute sind die physiologischen Reaktionen, die die Fähigkeit von Tauchern beeinflussen, in einer Notsituation unter Wasser zu bleiben, nicht vollständig bekannt. Es wird vermutet, dass die Anpassungsfähigkeit an die anhaltende Belastung des Körpers bei aufrechtem Verbleib an der Oberfläche auf die individuelle Veranlagung des Tauchers und die verwendeten Rettungs- und Auftriebshilfen zurückzuführen ist. Ziel dieser Studie ist es, die physiologische Belastung eines Tauchers in leichter Ausrüstung während der Wartung in vertikaler Position an der Oberfläche in Abhängigkeit von den verwendeten Rettungs- und Auftriebsgeräten zu bewerten. Die physiologischen Kennzahlen wurden bei einer Studiengruppe von Tauchern gemessen, während sie in vertikaler Position mit dem Gesicht an der Oberfläche in zwei verschiedenen Schwimmwesten untergetaucht waren: der klassischen und der Flügelweste. Ein höherer Sauerstoffbedarf, eine beschleunigte Herzfrequenz und ein höheres Risiko einer verminderten Sauerstoffverfügbarkeit nach dreißig Minuten des Überwasserhaltens wurden bei der Flügelweste im Vergleich zur klassischen Weste festgestellt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die Umsetzbarkeit der Verwendung physiologischer Indizes zur Bewertung der Rettungsfunktion von Auftriebs- und Rettungsgeräten bei Tauchern.

Schlüsselwörter: Tauchen, Rettungsweste, Sicherheit, körperliche Leistungsfähigkeit.

Hasta ahora no se conocían totalmente las reacciones fisiológicas que influyen en la capacidad de mantenerse en condiciones de inmersión en el agua de buceadores en situaciones de peligro. Se sugiere que las capacidades de adaptación a una carga prolongada del organismo al mantenerse en posición vertical en la superficie pueden deberse a las predisposiciones individuales del buceador y a los dispositivos de rescate y ayuda a la flotación empleados. El objetivo de los estudios era valorar la carga fisiológica del buceador con un equipo ligero mientras se mantiene en posición vertical en la superficie en función del dispositivo salvavidas y de ayuda a la flotación empleado. En el grupo de buceadores estudiado se midieron indicadores fisiológicos durante la inmersión en el agua en posición vertical manteniendo la cara en la superficie con dos chalecos salvavidas y de ayuda a la flotación distintos, a saber: el clásico y el de buceo. Se constataron una mayor necesidad de oxígeno, una aceleración del ritmo cardíaco y un mayor riesgo de reducción de la disponibilidad de oxígeno después de mantenerse treinta minutos en la superficie del agua en un chaleco de buceo en comparación con un chaleco clásico. Los resultados de los estudios del presente trabajo confirman la posibilidad de utilizar los indicadores fisiológicos para evaluar la función de salvamento de dispositivos salvavidas y de ayuda a la flotación en buceadores.

Palabras clave: buceo, chaleco salvavidas y de ayuda a la flotación, seguridad, capacidad física.

WSTĘP

W latach 80-ych XX wieku powstały pierwsze urządzenia ratunkowo – wypornościowe przeznaczone dla nurków. Z braku innych wzorców konstrukcję oparto na kamizelkach ratunkowych a konkretnie na typie stosowanym u pilotów samolotów wojskowych. W ten sposób powstała pierwsza kamizelka w Polsce nazywana „*chomątem*”. Dość szybko kamizelka przede wszystkim ratunkowa wyewoluowała do faktycznej (również z wyglądu) kamizelki, która połączyła funkcje ratunkowe i wypornościowe z funkcją noszaka do butli. Pierwsze modele były dołączone do noszaka, późniejsze (aż do dziś) są równocześnie noszakami. Na przednich powierzchniach kamizelki zaczęły pojawiać się zaczepy, D-ringi i inne urządzenia do przyczepiania dodatkowego sprzętu. Dla wygody posługiwania się tymże ramioną kamizelki przestały być (jak w „*chomącie*”) nadmuchiwane. Dalsza ewolucja zlikwidowała wszystkie elementy wypornościowe z przodu nurka, zostawiając jedynie podkowiastego kształtu worek za jego plecami. Powstała kamizelka typu „*skrzydło*”- obecnie najmodniejsza.

Funkcja ratunkowa stosowanych kamizelek jest stosunkowo dobrze poznana. Napełniona powietrzem czy innym gazem kamizelka ma za zadanie utrzymać na powierzchni wody nurka przez dowolną ilość czasu – aż do przybycia pomocy. Dotyczy to również nurka nieprzytomnego. Drugą częścią funkcji ratunkowej jest możliwość wyniesienia nurka z głębi na skutek zwiększenia pływalności poprzez dodanie gazu do wnętrza kamizelki zwiększając jej objętość a tym samym wypór. Funkcja wypornościowa (w pierwotnym założeniu funkcja pomocnicza) umożliwia podjęcie w krótkim czasie akcji ratunkowej. Dodawanie i upuszczanie gazu z wnętrza kamizelki pozwala na utrzymanie pływalności zerowej niezależnie od głębokości. Zastosowanie urządzenia ratunkowo-wypornościowego może w pewnym zakresie determinować możliwości podjęcia skutecznej akcji ratowniczej w przypadku konieczności utrzymania na powierzchni i holowania nurka. Ważnym z punktu widzenia podjętej akcji ratowniczej jest stan funkcjonalny nurka, który jest zależny od czasu narażenia na niedotlenienie (uraz ciśnieniowy) oraz obniżenie wydolności oddechowo-krażeniowej [1,2].

Wśród obecnie stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych wymienić należy [1]:

- kamizelki typu „*chomąto*”, w których środek wyporu znajduje się przed górną częścią klatki piersiowej nurka. Kamizelka tego typu spełnia głównie funkcję ratunkową w mniejszym stopniu wypornościową. Brak funkcji fiksacji elementów wyposażenia nurka. Obecnie prawie niespotykane w praktyce.
- kamizelki klasyczne, w których środek wyporu znajduje się na przedniej powierzchni klatki piersiowej lub do przodu od płaszczyzny przekroju strzałkowego ciała. Funkcja ratunkowa i wypornościowa są zrównoważone. Funkcja noszaka i montaż elementów sprzętu.
- kamizelki typu „*skrzydło*”, w których środek wyporu znajduje się do tyłu od płaszczyzny przekroju strzałkowego ciała, w niektórych modelach za ciałem nurka. Funkcja wypornościowa dominuje, funkcja ratunkowa

INTRODUCTION

The first buoyancy control device (BCD) for scuba divers, which was nicknamed a ‘horse collar’ because of its shape, was developed in the 1980s from the life jackets used by the military aircraft crews. Continued efforts to develop diving equipment led to the construction of BCDs combining the rescue and buoyancy functions with the function of the scuba tank harness. The early models of jackets were attached to the harness, and their next generations were provided with attachments for additional equipment. The BCDs started to be provided with adjustments ensuring their better fit to the diver’s physique. The wing BCD as we know it today was created by removing the buoyancy elements on the front and leaving the horseshoe bladder on the diver’s back.

There are two main types of BCDs that are widely used by divers today: a classical dive vest (CDV) and a wing dive vest (WDV). As well as allowing the diver to control the depth of the dive (i.e., buoyancy) and ascend to the surface, a BCD is also capable of keeping the diver, even an unconscious one, afloat with the head inclined backward to prevent water from entering the airway, thus increasing the odds of survival.

The success of rescue efforts is partly dependent on the ability of a BCD to keep a diver afloat before they are towed to safety, as well as on their condition that depends on the time of exposure to hypoxia, the adequacy of the breathing gas composition, and the reduction in cardiorespiratory capacity [1,2].

As the wing BCD’s centre of buoyancy is located on the diver’s, its primary function is to ensure buoyancy rather than the safety of a floating diver. The outcome of rescue efforts is related to the diver’s functional condition diver that depends on the position in the water, the time of floating, and the protection of the airway from inundation by water. Increasing or decreasing gas pressure in the bladder allows a diver to have zero buoyancy (the buoyant force and the force of gravity have the same value) regardless of the depth of the dive. This feature of the BCD is vital to divers using neoprene wetsuits whose buoyancy decreases with depth because of ambient pressure compressing neoprene gas bubbles. This problem does not occur in the case of divers wearing variable volume suits; however, most divers, especially those who pursue diving as a leisure activity, use neoprene suits.

The range of contemporarily used BCD includes [1]:

- the ‘horse-collar’ vests were developed the earliest and are rarely used nowadays. Because their centre of buoyancy is located above the diver’s chest, their primary purpose is to safe life, the buoyancy control function being secondary,
- the classical dive vests with the centre of buoyancy located at the chest. These vests were designed to offer the same degree of protection and buoyancy control. Their disadvantage is their size, which hinders floating diver’s movements,
- the ‘wing dive vests with the centre of buoyancy (in some models, it is even beyond the divers’ body); their main function is to keep a diver afloat in a safe position.

wątpliwa. Wygodny noszak i mocowanie elementów sprzętu.

W większości krajów świata w tym w Polsce istnieje obowiązek nurkowania z użyciem urządzeń ratunkowo – wypornościowych. Dużą część programów szkoleń pletwonurków – amatorów zajmuje nauka obsługi kamizelki. Programy szkoleniowe obejmują obsługę kamizelki jako urządzenia wypornościowego, ewentualnie innych jej możliwości (zaczepy na sprzęt), natomiast nie jest poruszana tematyka funkcji ratowniczej a szczególnie długotrwałego utrzymywania się nurka w pozycji pionowej na powierzchni [3].

Wydaje się, że dobór odpowiedniego sprzętu ratunkowego jest ważnym czynnikiem decydującym o adaptacji fizjologicznej nurka, dodatkowo narażonego na ryzyko obniżenia tolerancji wysiłkowej związanej z długotrwałym przebywaniem w wodzie, utrzymywaniem się na powierzchni w zmiennych warunkach środowiska zewnętrznego [4]. Do najbardziej istotnych czynników ryzyka związanych z długotrwałym przebywaniem w wodzie należą: obniżona adaptacja układu krążeniowo-oddechowego, bradykardia, zmniejszenie tempa reakcji metabolicznych dla zrównoważenia zapotrzebowania energetycznego mięśni szkieletowych, hipotermia [4, 5]. Optymalna adaptacja do zmiennych warunków termicznych, obniżenie zdolności do podejmowania racjonalnych decyzji w sytuacji stresu (percepcja zagrożenia), lęk i narastające zmęczenie. Dotychczas nie w pełni poznane są reakcje fizjologiczne, które wpływają na zdolność utrzymania się w warunkach zanurzenia w wodzie oraz zwiększenie rezerwy czynnościowej organizmu u nurków w sytuacji zagrożenia. Sugeruje się, że pewien wpływ na zdolności przystosowawcze do długotrwałego obciążenia układu oddechowego i sercowo-naczyniowego mogą wynikać z indywidualnych predyspozycji zawodnika i stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych [6].

Dlatego celem badań była ocena obciążenia fizjologicznego nurka w sprzęcie lekkim podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni w zależności od wykorzystywanego urządzenia (kamizelki) ratunkowo – wypornościowego.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na krytej pływalni Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach, w wodzie o temperaturze 26°C w warunkach bezwietrznych i przy dziennym świetle. W badaniach uczestniczyło 20 mężczyzn i 14 kobiet w zbliżonym przedziale wiekowym rekreacyjnie uprawiających nurkowanie. Wiek badanych wynosił $21,7 \pm 5,9$ lat, masa ciała $70,6 \pm 14,4$ kg, wysokość ciała $174,8 \pm 9,6$ cm, BMI $22,9 \pm 3,3$ i zawartość tkanki tłuszczowej $15,2 \pm 6,4$ %. Skład ciała został oceniony techniką impedancji elektrycznej z wykorzystaniem analizatora In Body570 Biospace Inc., Seoul, Korea. Przed przystąpieniem do właściwego protokołu badań u wszystkich badanych zmierzono częstość skurczów (HR), ciśnienie tętnicze krwi, wykonano badania spirometryczne i pomiar spoczynkowy zużycia tlenu (VO_2). Dokonano pomiaru wysycenie hemoglobiny tlenem ($SatO_2$).

Wszyscy badani uczestniczyli w dwóch protokołach badań w celu określenia wskaźników fizjologicznych podczas zanurzenia w wodzie w pozycji pionowej z utrzymaniem twarzy na powierzchni w dwóch różnych kamizelkach ratunkowo – wypornościowych tj.:

Most countries in the world, including Poland, have legislation requiring divers to wear a BCD during the dive. As a result, the use of the BCD has become an important module of training programmes for amateur divers developed by all scuba diving federation. However, their main focus is on the buoyancy function and other features of the BCD (attachments for equipment), its rescue function, especially its ability to keep a diver afloat in an upright position on the water surface for an extended period of time, being given little or no attention at all [3].

The primary focus of legislators enacting the diving equipment legislation has been on the diver's safety, but the evolution of BCD designs seems to increasingly depart from their original rescue function and even, at adverse conditions, put diver's life and health at greater risk. This observation prompted the authors to conduct a preliminary analysis of the level of safety offered by contemporary BCDs.

As already mentioned in the introduction, the type of the rescue equipment plays a key role in the adaptation of a diver staying afloat for a long time [4]. The most important risk factors related to a prolonged stay in water include impaired cardiovascular adaptation, bradycardia, the slowing of metabolic processes, and hypothermia [4,5]. The knowledge of physiological reactions enabling a diver increasing the functional reserve in a life-threatening situation is not yet complete. It is suggested that the ability to adapt to prolonged respiratory and cardiovascular stress is associated with the diver's individual characteristics and the type of the BCD worn [6].

Therefore, the purpose of this study was to perform a preliminary evaluation of physiological variables in divers wearing two different types of BCD and floating upright at the surface to determine the level of safety offered by each of them.

MATERIAL AND METHODS

Tests were conducted in an indoor swimming pool at the Physical Education Academy Katowice, in calm water at 26°C under windless conditions. The ambient light was daylight.

The study enrolled 20 male and 14 female recreational swimmers of similar ages (21.7 ± 5.9 years), a body mass of 70.6 ± 14.4 kg, a body height of 174.8 ± 9.6 cm, a BMI of 22.9 ± 3.3 , and fat tissue percentage of 15.2 ± 6.4 %. The body composition of the participants was determined using bioelectrical impedance analysis (an InBody570 analyser, Biospace Inc., Seoul, South Korea). Before the tests, participants' heart rate (HR), blood pressure, resting oxygen uptake, and haemoglobin oxygen saturation ($SatO_2$) were determined and spirometry measurements were performed.

The physiological parameters were measured while participants wearing BCDs were floating vertically with the face above the water. The testing protocol provided for the use of two of BCDs: a classical dive vest (CDV) and a 'wing' dive vest (WDS). Which vest was used first was decided randomly and the interval between the first and second test was at least 3 days.

Parameter measurements were performed at four time points: at rest, and then 10, 20, and 30 minutes after the test. Each time, participants' oxygen uptake (VO_2), the percentage of carbon dioxide in exhaled air (VCO_2), minute ventilation (VE), breathing frequency

klasycznej (KK) i typu skrzydło (KS). Kolejność wykonania próby ustalono losowo a udział w drugiej próbie nastąpił nie wcześniej niż po 3 dniach od pierwszego badania.

Pomiar wskaźników fizjologicznych wykonano w spoczynku przed każdym badaniem oraz powtórzono w 10, 20 i 30 minucie po teście w każdym protokole badań (KK vs KS). Zmierzono zużycie tlenu (VO_2) i objętość dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu (VCO_2). W trakcie badania mierzone były: wentylacja płuc (VE), częstość oddechów (BF) i objętość oddechowa (TV). Wyliczono wskaźnik względny poboru tlenu (VO_2/kg), metaboliczny równoważnik tlenu (MET) oraz wskaźnik wentylacyjno-perfuzyjny (VE/VO_2). Do oceny wskaźników oddechowych podczas wysiłku fizycznego wykorzystano ergospirometr (Ergo2000M software MES, Polska). Dokonano pomiaru wysycenie hemoglobiny tlenem ($SatO_2$) z zastosowaniem pulsoksymetru (Konica Minolta PULSOX-300i, Japan). Podczas trwania badania w sposób ciągły rejestrowano rytm pracy serca (HR) (POLAR H10 HearRate opr. 3.1.1 Kempele, Finlandia). Ciśnienie tętnicze (DBP, SBP) zmierzono przed i bezpośrednio po próbie ciśnieniomierzem (OMRON M2, Japonia). Wszyscy badani zostali poinformowani o celu i przebiegu badań i wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. Protokół badania przedstawiono na rycinie 1.

(BF), and tidal volume (TV) were recorded. Calculations were made to determine their relative oxygen uptake (VO_2/kg), the metabolic equivalent of task (MET), and the ventilation-perfusion ratio (VE/VO_2).

The effect of physical exercise on participants' respiratory indicators was assessed using an ergospirometer (Ergo2000M, MES software, Poland), and haemoglobin oxygen saturation levels ($SatO_2$) were measured with a pulse oximeter (Konica Minolta PULSOX-300i, Japan). HR values were recorded in an ongoing throughout each test (POLAR H10 HearRate with 3.1.1 version software, Kempele, Finland). Diastolic and systolic blood pressure (DBP and SBP) was measured at rest and after the test with a sphygmomanometer (OMRON M2, Japan).

All participants were advised on the purpose and protocol of the study and gave their written consent to participate in it. The test procedures were conducted as shown in Figure 1.

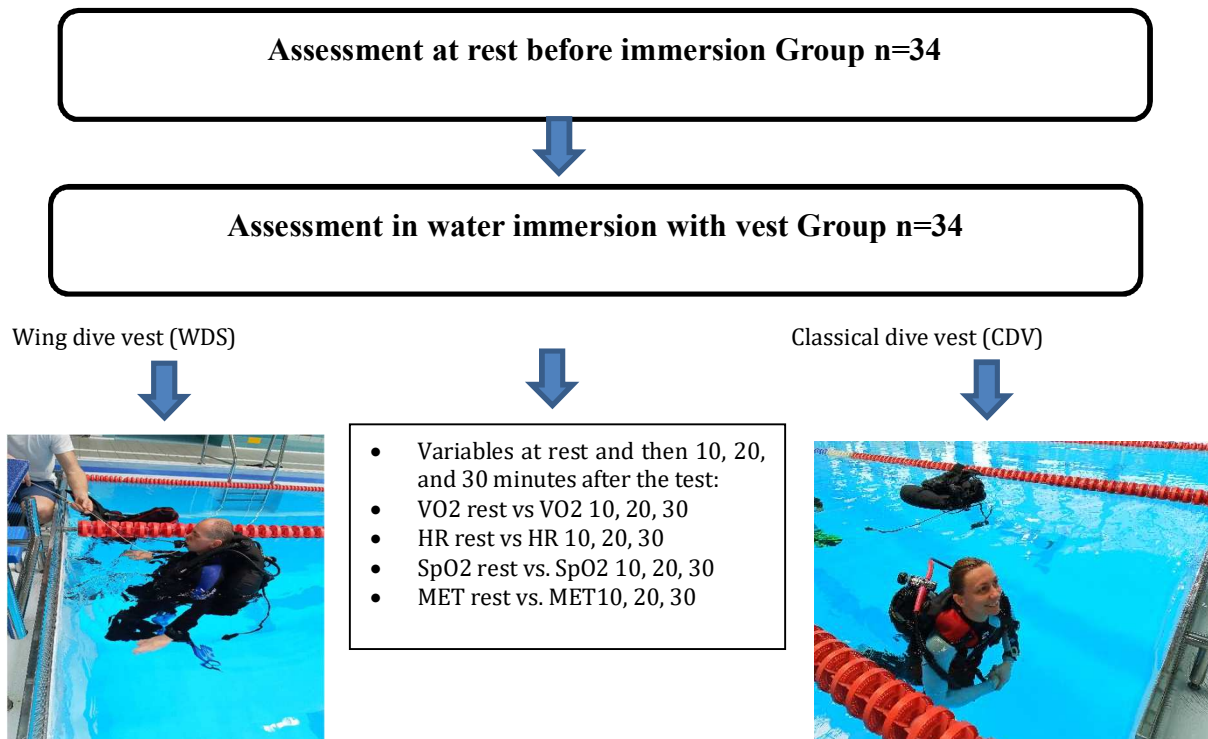


Fig. 1 The test procedures.

Rys. 1 Protokół badań.

Dokonano analizy statystycznej uzyskanych wyników. Wyznaczono podstawowe charakterystyki statystyki opisowej parametrów ocenianych w skali przedziałowej (średnią, odchylenie standardowe – SD, błąd standardowy średniej – SEM, przedział ufności, skośność i kurtozę). Dla każdego ocenianego parametru przeprowadzono test Shapiro-Wilka sprawdzając zgodność jego rozkładu z rozkładem normalnym. Wartości zostały przedstawione jako średnie i odchylenia standardowe (\bar{x} , SD). W drugim etapie istotność statystyczną przyjęto na poziomie $p < 0,05$. Wykorzystano analizę wariancji z powtarzalnym pomiarem poprzedzoną testem Levene’a sprawdzającym jednorodność wariancji. Badano wpływ następujących czynników: rodzaju kamizelki (KK vs KS) i czas trwania próby (sp vs 10', 20' i 30') na analizowane zmienne. Bazę danych opracowano przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego Excel v.2019 z pakietu Microsoft Office. Do analizy statystycznej wykorzystano program statystyczny Statistica v. 13.3 firmy StatSoft.

WYNIKI

Osoby biorące udział w badaniach były w podobnym wieku, charakteryzowały się podobnymi wskaźnikami somatycznymi a wszystkie wyniki spoczynkowe znajdowały się w zakresie wartości referencyjnych (Tabela 1).

W badanej grupie przeprowadzone zostało badanie spoczynkowe podczas zanurzenia w wodzie w kamizelce ratunkowo- wypornościowej klasycznej (KK) i typu skrzydło (KS). Wyniki tego badania przedstawiono w tabeli 1 dla wartości spoczynkowych i tabeli 2 dla wartości mierzonych podczas prób utrzymania pozycji pionowej z twarzą nad powierzchnią wody. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ rodzaju zastosowanej kamizelki (KK vs KS) na zużycie tlenu podczas prób ($F=9,80$ $p<0,001$) i istotnie większe zużycie tlenu (VO_2 [ml/min/kg]) w 10', 20', i 30 minucie zanurzenia w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do kamizelki klasycznej ($p<0,001$) (Tabela 2). W odniesieniu do VO_2 w spoczynku w badaniu KS obserwowano istotny wzrost zużycia tlenu w porównaniu do wartości przed próbą ($p<0,001$). Podobne zależności stwierdzono w oceni wskaźników oddechowych i istotny wpływ rodzaju kamizelki na (VCO_2) i wentylację minutową płuc (VE). Rodzaj stosowanej kamizelki nie miał istotnego wpływu na wentylację minutową płuc przypadającą na objętość pobieranego tlenu w (VE/VO_2). Pomimo braku istotnych różnic pomiędzy protokołami badań, zaobserwowano tendencję do większej objętości oddechowej (VT) i mniejszej $SatO_2$ w badaniu w kamizelce typu „skrzydło” w porównaniu do klasycznej. Istotne obniżenie wysycenia hemoglobiny tlenu zaobserwowano w 30 minucie badania w KS w porównaniu do $SatO_2$ przed badaniem ($p<0,05$). Rytm pracy serca mierzony w badaniu w KK nie różnił się istotnie w porównaniu do wartości spoczynkowej ($p>0,05$). Istotnie różnice zaobserwowano w badaniu w kamizelce typu skrzydło KS w porównaniu do wartości spoczynkowej ($p<0,01$) oraz do badania w KK w kolejnych pomiarach ($F= 5,38$; $p<0,01$) (Tabela 2). W przypadku ciśnienia tętniczego krwi (SBP, DBP) nieznacznie niższe wartości zostały uzyskane w badaniu KK niż w KS. Wyniki te nie były istotne statystycznie.

The data recorded during the tests were subjected to statistical analysis involving the calculation of basic descriptive statistics (means, standard deviations – SD, standard errors of the mean – SEM, confidence intervals, skewness, and kurtosis). Each parameter's distribution was assessed for normality using the Shapiro-Wilk test. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$. The two-way ANOVA was preceded by Levene's test for homogeneity of variance. The effect of the BCD type (CDV vs. WDV) and the test duration (resting values vs. values measured after 10, 20, and 30 minutes) on the analysed indicators and parameters was assessed. The data were processed using the Microsoft Excel spreadsheet (2019) and statistical analysis was performed in Statistica v. 13.3 by StatSoft.

RESULTS

The study participants were similar in anthropometric measurements and the values of all indicators measured at rest were in normal ranges (Tab. 1).

The resting values of the physiological parameters measured at the beginning of the tests in participants wearing a CDV or a WDV and trying to maintain an upright position in the water are summarised in Table 1. The parameters' values recorded 10, 20, and 30 minutes into the test are presented in Table 2 by BCD type. The two-way ANOVA showed a significant effect of the BCD type (CDV vs WDV) on oxygen uptake during the tests ($F=9.80$, $p<0.001$) and significantly greater relative oxygen uptake (VO_2 [ml/min/kg]) after 10, 20, and 30 min in participants wearing the WDV compared with the CDV ($p<0.001$; Table 2). In participants wearing the CDV, significant increases in oxygen uptake ($p<0.001$) from the resting levels were recorded. Similar changes were observed for the respiratory indicators. The effect of the BCD type on VCO_2 and VE levels was significant, in contrast to VE/VO_2 . Participants tended to have greater VT and smaller $SatO_2$ when wearing the WDV than when they floated with the CDV. The participants wearing the WDV had significantly lower $SatO_2$ after 30 minutes in water compared with its resting levels ($p<0.05$). The heart rate of participants using the CDVs did not change significantly ($p>0.05$), but its values recorded in the test with the WDV were significantly higher at all three time points than at rest ($p<0.01$) and compared with those obtained for the CDVs after 20 (0.006) and 30 minutes (0.004) ($F= 5.38$; $p<0.01$) (Table 2). The SBP and DBP of participants using the CDVs were non-significantly lower than when they wore the WDV.

Tab 1.

The resting values of physiological indicators by BCD type (mean± SD).

Wskaźniki fizjologiczne w spoczynku w grupie badanej w kamizelce ratunkowo- wypornościowej Klasycznej (KK) i typu Skrzydło (KS) (średnia ± SD).

Indicator	CDV	WDV	P
VO ₂ [ml kg ⁻¹ min ⁻¹]	6.8 ± 2.0	6.7 ± 1.5	Ns
VE [l min ⁻¹]	16.3 ± 6.6	15.4 ± 4.5	Ns
HR [bpm]	72.0 ± 16.0	71.0 ± 15.0	Ns
SBP [mm Hg]	119.0 ± 13.4	118.0 ± 12.2	Ns
DBP [mm Hg]	78.0 ± 8.1	80.0 ± 8.2	Ns
VE/VO ₂ [l]	32.6 ± 6.6	31.4 ± 5.2	Ns
MET	1.9 ± 0.6	1.9 ± 0.4	Ns
SatO ₂ [%]	97.8 ± 1.3	98.2 ± 0.9	Ns

VO₂ – oxygen uptake; VE-minute lung ventilation; HR- heart rate; SDP/DBP –systolic and diastolic blood pressure; MET- the metabolic equivalent of task, SatO₂-haemoglobin oxygen saturation; ns- not significant statistically; P – statistically significantly different between CDV and WDV.

Tab 2.

The values of physiological indicators recorded during the tests by BCD type (mean ± SD).

Wskaźniki fizjologiczne podczas zanurzenia w wodzie w kamizelce ratunkowo- wypornościowej Klasycznej (KK) i typu Skrzydło (KS) (średnia ± SD).

Indicator	Indicator change recorded after			Effect of the test protocol and time point		Post- hoc		
	10 min	20 min	30 min	F	p	Post-hoc 10' CDV vs. WDV	Post-hoc 20' CDV vs. WDV	Post hoc 30' CDV vs. WDV
VO ₂ [ml kg ⁻¹ min ⁻¹] 1]CDV	8.4 ± 2.4	8.1 ± 2.3	8.0 ± 2.5	9.80	0.001	0.000	0.000	0.001
VO ₂ [ml kg ⁻¹ min ⁻¹] 1]WDV	11.2 ± 3.9	11.0 ± 3.6	10.8 ± 3.0					
VCO ₂ [l min ⁻¹]CDV	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	9.80	0.001	0.000	0.000	0.001
VCO ₂ [l min ⁻¹]WDV	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	0.6 ± 0.2					
VE [l min ⁻¹]CDV	17.3 ± 4.9	16.6 ± 4.8	16.3 ± 4.7	8.96	0.001	0.000	0.000	0.019
VE [l min ⁻¹]WDV	21.6 ± 7.6	20.8 ± 7.7	20.1 ± 7.1					
HR [bpm]CDV	79.0 ± 17.0	75.0 ± 15.0	73.0 ± 16.0	5.38	0.01	Ns	0.006	0.004
HR [bpm]WDV	88.0 ± 16.0	89.0 ± 17.0	88.0 ± 15.0					
MET CDV	2.4 ± 0.7	2.3 ± 0.7	2.3 ± 0.7	9.89	0.001	0.000	0.000	0.001
MET WDV	3.2 ± 1.1	3.1 ± 1.0	3.0 ± 0.9					
SatO ₂ [%]CDV	97.8 ± 1.0	98.0 ± 1.2	98.2 ± 1.1	0.2	ns	Ns	Ns	ns
SatO ₂ [%]WDV	97.8 ± 1.1	97.5 ± 1.3	97.7 ± 1.2					

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki badań charakteryzujących obciążenie układu krążeniowo-oddechowego w odpowiedzi na długotrwałe utrzymanie pozycji pionowej na powierzchni wody potwierdzają zróżnicowanie funkcji ratunkowych stosowanych kamizelek ratunkowo-wypornościowych [1,6]. Do najbardziej istotnych obserwacji należy zwiększenie zapotrzebowania na tlen, przyspieszenie rytmu pracy i większe ryzyko obniżenia dostępności tlenu po trzydziestu minutach utrzymywania się na powierzchni wody w kamizelce typu „skrzydło” w porównaniu do kamizelki klasycznej.

Napełniona kamizelka klasyczna utrzymuje nie wykonującą żadnych ruchów osobę na powierzchni wody w ułożeniu skośnym na grzbiecie. Najwyżej położoną częścią ciała jest twarz, najniżej znajdują się stopy (Rys. 2).

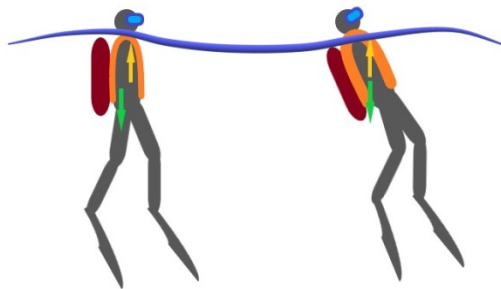


Fig. 2. The effect of buoyancy and gravity in a classic vest.

Rys. 2 Działanie siły wyporu i siły ciężenia w kamizelce klasycznej.

Napełniona kamizelka typu „skrzydło” utrzymuje nie wykonującą żadnych ruchów osobę na powierzchni wody w pozycji kolankowo – łokciowej (na brzuchu). Najwyżej położoną częścią ciała jest okolica pośladkowa, najniżej znajdują się stopy. Twarz zawsze jest głęboko zanurzona (Rys. 3.)

Such protection is not offered by a wing dive vest, whose centre of buoyancy causes a diver to float with the buttocks uppermost and the face submerged in the water (Figure 3).

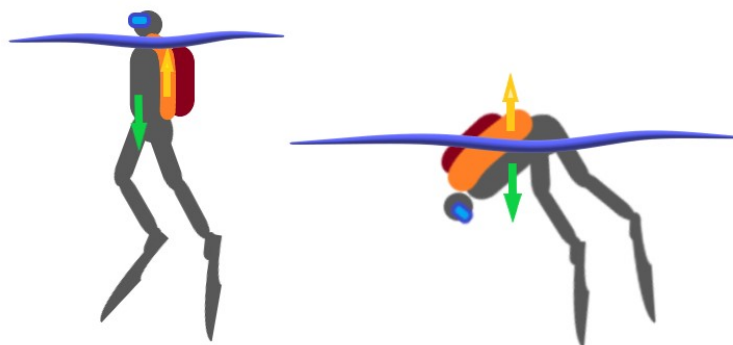


Fig. 3 The effect of buoyancy and gravity in a wing vest.

Rys. 3 Działanie siły wyporu i siły ciężenia w kamizelce typu „skrzydło”.

W celu przeciwdziałania niekorzystnemu dla bezpieczeństwa nurka ułożeniu ciała konieczne jest włączenie pracy mięśni szkieletowych i aktywacja mechanizmów adaptacyjnych zwiększających transport tlenu do pracujących mięśni [7,8]. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że zastosowanie kamizelki wypornościowo-ratunkowej typu skrzydło (KS) wpływa na istotne zwiększenie rytmu pracy serca podczas utrzymania pozycji pionowej na powierzchni wody w porównaniu do wartości spoczynkowej a także w porównaniu do badania z zastosowaniem klasycznej kamizelki wypornościowej (KK). Wysiłek fizyczny związany z utrzymaniem pozycji pionowej w kamizelce typu skrzydło istotnie zwiększa wentylację minutową płuc, MET i pobór tlenu w porównaniu do wartości spoczynkowych a także w porównaniu do wyników w badaniu z zastosowaniem klasycznej kamizelki. Obniżenie wysycenia hemoglobiny tlenem jest istotnie niższe w 30 minucie próby w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do wartości spoczynkowej.

Stosunkowo niewielki wzrost analizowanych wskaźników fizjologicznych w przeprowadzonym badaniu może wskazywać, że dla osoby przebywającej pod wodą podczas długotrwałego nurkowania, obciążenie fizjologiczne w sytuacji utrzymywania się na powierzchni wody będzie znacznie większe. Wyróżnia się cztery czynniki, które stanowią o wysokim obciążeniu fizjologicznym organizmu podczas przebywania pod wodą na wstrzymanym oddechu. Są to: wytwarzanie i gromadzenie się CO₂; narastający deficyt tlenowy; wpływ wysokiego ciśnienia na powierzchnię ciała, zwłaszcza na klatkę piersiową oraz powstawanie pęcherzyków azotu we krwi i tkankach podczas wynurzania się z wody [2,5,9].

Wyróżnia się kilka mechanizmów adaptacyjnych, które zwiększają rezerwy tlenu podczas nurkowania swobodnego i głębinowego oraz zabezpieczają nurków przed nagłą utratą przytomności. Oddychanie w warunkach obniżonej dostępności tlenu wpływa na obniżenie ciśnienia parcjalne O₂ (pO₂) w płucach, krew jest co raz mniej natlenowana a saturacja (SpO₂) powoli się obniża. Odruchy z chemoreceptorów zmieniają dystrybucję krwi zabezpieczając przed hipoksją mózg i serce, co w pewnym zakresie kompensuje obniżone wysycenie krwi tlenem. Przedłużony bezdech wywołuje bradykardię serca, obniżenie przepływu mięśniowego krwi a pobudzenie mechanoreceptorów płuc w warunkach zwiększonego ciśnienia wewnątrzpęcherzykowego i nadciśnienia w naczyniach płucnych uruchamia mechanizmy obronne, które zabezpieczają przed niedotlenieniem i kompresją płuc. Ponadto poprawa parametrów hemodynamicznych w układzie naczyniowym poprzez wazokonstrykcję naczyń krwionośnych, wykorzystanie rezerw krwi wysyczonej tlenem (tzw. odruch nurkowy) oraz zwolnienie metabolizmu są istotnymi mechanizmami adaptacji organizmu do długiego wstrzymania oddechu [5,10].

Zanurzenie ciała powoduje zmianę dynamiki powrotu żylnego w kierunku klatki piersiowej. Zwiększony przepływ w klatce piersiowej spowodowany jest zmniejszeniem przepływu krwi w żyłach obwodowych [11,12]. Zmiany ciśnienia i dostępności O₂ w układzie oddechowym oraz zwiększenie eliminacji CO₂ są przyczyną zmian w układzie sercowo naczyniowym. Następuje rozszerzenie lub zwężenie naczyń co prowadzi

In order to counteract the position of the body, it is necessary to activate the work of skeletal muscle and adaptive mechanisms increasing oxygen transport to the tissues [7,8].

The results of the tests revealed that the participants' resting heart rate values increased significantly more when they wore the WDV than when they used the CDVs. The same changes were observed for minute ventilation, MET, and oxygen uptake. However, the haemoglobin oxygen saturation levels measured in participants wearing the WDV after 30 minutes in water were significantly smaller than at rest.

The relatively small increments in the physiological indicators of participants wearing the CDVs imply that divers who have ascended after a long dive incur a significantly higher physiological cost to stay afloat. The adaptation mechanisms that increase oxygen reserves during free diving and deep diving to protect a diver from an abrupt loss of consciousness are well recognised [2,5,9]. Breathing under limited oxygen supply contributes to lower pulmonary partial oxygen pressure (pO₂), the oxygen content of blood gradually declines, likewise haemoglobin saturation (SpO₂). Chemoreceptor reflexes change blood distribution to protect the brain and heart from hypoxia, which partly attenuates the effect of reduced blood oxygen saturation. Extended apnoea leads to bradycardia and reduces the amount of blood flowing in the muscles, while the activation of pulmonary mechanoreceptors under increased intra-alveolar pressure and pulmonary vessel hypertension initiate defence mechanisms protecting from hypoxia and lung compression. Other major mechanisms enabling physiological adaptation to extended breath-hold time underwater include vasoconstriction improving the hemodynamic parameters, the release of the reserves of oxygen-saturated blood (the diving reflex), and slowed metabolism [5,10].

An underwater dive has an effect on the dynamics of venous return. As peripheral blood flow decreases, more blood circulates in the chest [2]. Changing pressure and availability of O₂ in the respiratory system and faster removal of CO₂ cause are followed by changes in the cardiorespiratory system: blood vessels constrict or dilate, lowering or raising blood pressure, respectively.

The trained divers develop adaptation mechanisms that protect them from hypercapnia associated with breath-holding by improving the use of the available oxygen reserves and slowing down metabolism [11,12]. The extended inhalation of a breathing gas during scuba diving (deep diving) is associated with the occurrence of adverse physiological phenomena and risks related to hyperventilation, oxygen poisoning, and nitrogen narcosis [11].

This experimental study investigating how physiological reactions to floating in an upright position vary depending on the type of a BCD worn by a diver has some limitations. The measurements were taken in participants who did not ascend from a dive and floated in the calm water of constant temperature under windless conditions. Nonetheless, its results confirm the possibility of using physiological indicators to compare cardiorespiratory risk and fatigue in divers depending on the BCD type.

do zmiany oporu obwodowego co w konsekwencji do obniżenia lub podwyższenia BP [11,12]. U trenujących nurków zachodzą mechanizmy adaptacyjne, które chronią przed rozwijającą się podczas bezdechu hiperkapnią. Celem tych mechanizmów, jest zwiększenie dostępnych zasobów tlenu, spowolnienie przemian metabolicznych a tym samym wydłużenie czasu bezdechu [11].

Wyniki badań przeprowadzonych w warunkach eksperymentalnych (basen) niniejszej pracy potwierdzają możliwość wykorzystania wskaźników fizjologicznych do oceny funkcji ratunkowej urządzeń wypornościowo-ratunkowych u nurków.

WNIOSKI

Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Kamizelka typu "skrzydło" nie chroni nieprzytomnego nurka lub nurka, który nie może poruszać kończynami a w pozostałych przypadkach czas jej działania ochronnego jest ograniczony wydolnością fizyczną.

2. Kamizela klasyczna może chronić nieprzytomnego nurka przez dłuższy czas.

3. Wskazane są dalsze badania w warunkach bliższych rzeczywistości (falowanie, niska temperatura wody).

CONCLUSION

1. The wing dive vest does not protect an unconscious diver or one who cannot move their limbs; in other cases, its usability as a rescue device is determined by the diver's physical capacity.

2. The classical dive vest is capable of protecting a diver, even one who is unconscious, for an extended length of time.

3. There is a need for further research with a testing protocol designed to better imitate natural outdoor conditions (a rough water surface, low ambient temperature).

REFERENCES

- Middleton JR. Evaluation of Commercially Available Buoyancy Compensators. Test Report. Navy Experimental Diving Unit Panama City Fl. 1980;1-80
- Bosco G, Rizzato A, Moon RE, Camporesi EM. Environmental physiology and diving medicine. *Front Psychol*, 2018; 9: 72.
- https://youtu.be/XX4nYoNaJ_g
- Looney DP, Long ET, Potter AW, Xiaojiang X, Friedl KE, Hoyt RW, Chalmers CR, Buller MJ, Florian JP. Divers risk accelerated fatigue and core temperature rise during fully-immersed exercise in warmer water temperature extremes. *Temperature*, 2019; 6(2): 150-157, DOI: 10.1080/23328940.2019.1599182
- Cheung SS, Ainslie PN. Diving and Hyperbaric Physiology. In *Advanced Environmental Exercise Physiology*. Champaign IL: Human Kinetics 2022; 109-126.
- Rush T. Test and Evaluation of the Integrated Divers Vest. Test Report. Navy Experimental Diving Unit Panama City Fl. 1994; 11-94.
- Bain A, Drvis I, Dujic Z, MacLeod D. Physiology of static breath holding in elite apneists. *Exp Physiol*. 2018; 103: 635-651.
- Elia A, Wilson OJ, Lees M, Parker PJ, Barlow MJ, Cocks M, O'Hara JP. Skeletal muscle, haematological and splenic volume characteristics of elite breath-hold divers. *Eur J Appl Physiol*, 2019; 119: 2499–2511.
- Marlinge M, Coulange M, Fitzpatric R, Delacroix R, Gabarre A, Laine N, Cautela J, Louge P, Boussuges A, Rostain JC, Guieu R, Joulia FC. Physiological stress markers during breath-hold diving and SCUBA diving. *Physiol Rep*, 2019; 7(6): e14033.
- Fernández F, González-Ravé JM, Juárez, D. Breath-hold diving performance factors. *J Hum Sport Ex*, 2017; 12(3): 582-592.
- Kjeld T, Stride N, Gudiksen A, Hansen EG, Arendrup HC, Horstmann PF, Zerahn B, Jensen LT, Nordsborg N, Bejder J, Halling JF. Oxygen conserving mitochondrial adaptations in the skeletal muscles of breath hold divers. *PLoS One*. 2018; 13(9): 0201401. doi: 10.1371/journal.pone.0201401
- Garbella E, Piarulli A, Fornai E, Pingitore A, Prediletto R. Preliminary observations on the effect of hypoxic and hyperbaric stress on pulmonary gas exchange in breath-hold divers. *Diving Hyperb Med*. 2011; 41(2): 97–100.

dr hab. med. Piotr Siermontowski, prof. AMW

Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademii Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia
p.siermontowski@amw.gdynia.pl

ORCID - 0000-0003-2557-3561

ADVERSE EVENTS DURING HYPERBARIC OXYGEN THERAPY – LITERATURE REVIEW

ZDARZENIA NIEPOŻĄDANE PODCZAS TLENOTERAPII HIPERBARYCZNEJ – PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

Dorota Ubysz¹⁾, Wojciech Giermaziak¹⁾, Aurelia Ostrowska²⁾

1) Main Medical Library in Warsaw, Poland

1) Główna Biblioteka Lekarska w Warszawie

2) Military Medical Service Department in Warsaw, Poland

2) Departament Wojskowej Służby Zdrowia w Warszawie

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

As any other therapy method, hiperbaric oxygen therapy is connected with the risk of complications. The article is a review of the results of research on adverse events of hyperbaric oxygen therapy. The most common are: barotrauma of the middle ear, paranasal sinuses or lungs, oxygen toxicity can be pulmonary, ocular in extreme cases leading to cataracts, claustrophobia, pulmonary edema or hypoglycaemia. Research has shown that these events occur in the presence of high oxygen concentration or high pressure. Depending on the severity of complications, they are short-term not causing discontinuation of therapy or long-term excluding continuation of treatment. However adverse events connected with oxygen therapy are not common and are usually mild. This confirms that HBOT is an effective and safe method of treating decompression sickness, carbon monoxide poisoning, and the treatment of chronic wounds, delayed radiation injuries or necrotic soft tissue infections.

Keywords: Hiperbaric oxygen therapy, HBOT, safety, complications of oxygen therapy.

Tlenoterapia hiperbaryczna jak każda metoda terapii niesie ryzyko powikłań. Artykuł stanowi przegląd wyników badań dotyczących zdarzeń niepożądanych tlenoterapii hiperbarycznej. Do najczęstszych należą: barotrauma ucha środkowego, zatok przynosowych czy płuc, toksyczność tlenowa może być płucna, oczna w skrajnych przypadkach prowadząca do zaćmy, klaustrofobia, obrzęk płuc czy hipoglikemia. Jak wykazały badania, do zdarzeń tych dochodzi w przypadku wysokiego stężenia lub wysokiego ciśnienia tlenu. W zależności od ciężkości powikłań są one krótkotrwałe nie powodujące przerwania terapii oraz długotrwałe wykluczające kontynuowanie leczenia. Jednakże zdarzenia niepożądane związane z tlenoterapią występują rzadko i są przeważnie łagodne, co potwierdza, że HBOT jest skuteczną i bezpieczną metodą leczenia choroby dekompresyjnej, zatruc tlenkiem węgla, czy leczeniem ran przewlekłych, opóźnionych urazów popromiennych czy martwiczych infekcji tkanek miękkich.

Słowa kluczowe: Tlenoterapia hiperbaryczna, HBOT, bezpieczeństwo, powikłania tlenoterapii.

Гипербарическая оксигенотерапия, как и любой другой метод терапии, сопряжена с риском осложнений. Статья представляет собой обзор результатов исследования нежелательных явлений гипербарической оксигенотерапии. К наиболее распространенным относятся: баротравма среднего уха, околоносовых пазух или легких, кислородная токсичность, которая может быть легочной и глазной, она в крайних случаях приводит к катаракте, клаустрофобии, отеку легких или гипогликемии. Как показали исследования, эти события происходят при высокой концентрации или давлении кислорода. В зависимости от тяжести осложнений они бывают кратковременными, не вызывающими отмены терапии, и длительными, исключающими продолжение лечения. Однако нежелательные явления, связанные с оксигенотерапией, встречаются редко и они в основном легкие, что подтверждает, что HBOT является эффективным и безопасным методом лечения декомпрессионной болезни, отравления угарным газом, лечения хронических ран, отсроченных лучевых поражений или некротических инфекций мягких тканей.

Ключевые слова: Гипербарическая оксигенотерапия, HBOT, безопасность, осложнения оксигенотерапии.

Die hyperbare Sauerstofftherapie birgt wie jede Behandlungsmethode das Risiko von Komplikationen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Ergebnisse von Studien zu unerwünschten Ereignissen bei der hyperbaren Sauerstofftherapie. Zu den häufigsten gehören: das Barotrauma des Mittelohrs, der Nasennebenhöhlen oder der Lunge; Sauerstofftoxizität in der Lunge, in extremen Fällen im Auge, die zu Katarakten, Klaustrophobie, Lungenödemen oder Hypoglykämie führen kann. Wie Studien gezeigt haben, treten diese Ereignisse auf, wenn die Sauerstoffkonzentration oder der Druck hoch sind. Je nach Schwere der Komplikationen sind sie von kurzer Dauer, die keinen Abbruch der Therapie erfordern, oder von langer Dauer, die eine Fortsetzung der Behandlung ausschließt. Unerwünschte Ereignisse im Zusammenhang mit der Sauerstofftherapie sind jedoch selten und meist leicht, was bestätigt, dass die Sauerstofftherapie (HBOT) eine wirksame und sichere Behandlungsmöglichkeit ist, sei es bei der Behandlung der Dekompressionskrankheit, der Kohlenmonoxidvergiftung oder der Behandlung chronischer Wunden, verzögerter Strahlenschäden oder nekrotisierender Weichteilinfektionen.

Schlüsselwörter: Hyperbare Sauerstofftherapie, HBOT, Sicherheit, Komplikationen der Sauerstofftherapie.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 45 – 66

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0016

Pages: 12, figures: 0, tables: 0

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy
Review article

Termin nadesłania: 23.10.2020 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 18.02.2021 r.



La oxigenoterapia hiperbárica, como cualquier método de terapia, conlleva un riesgo de complicaciones. El artículo es una revisión de los resultados de los estudios relativos a eventos adversos de la oxigenoterapia hiperbárica. Entre los más frecuentes se encuentran: el barotrauma del oído medio, los senos paranasales o los pulmones, la toxicidad por oxígeno puede ser pulmonar, ocular, provocando en casos extremos cataratas, claustrofobia, edema pulmonar o hipoglucemia. Según han demostrado los estudios, estos eventos se producen en caso de una alta concentración o una alta presión de oxígeno. En función de la gravedad de las complicaciones, estas son de corta duración y no provocan una interrupción de la terapia, o bien de larga duración, que excluyen la continuación del tratamiento. Sin embargo, los eventos adversos relacionados con la oxigenoterapia se presentan raramente y por lo general son leves, lo que confirma que HBOT es un método de tratamiento eficaz y seguro tanto de la enfermedad descompresiva, intoxicaciones por monóxido de carbono como de tratamiento de heridas crónicas, lesiones por radiación retardadas o infecciones necrosantes de tejidos blandos.

Palabras clave: Oxigenoterapia hiperbárica, HBOT, seguridad, complicaciones de la oxigenoterapia.

WSTĘP

Przez Towarzystwo Medycyny Podwodnej i Hiperbarycznej (UHMS) i Europejski Komitet Medycyny Hiperbarycznej (ECHM) hiperbaria tlenowa jest zatwierdzona do leczenia zatoru gazowego jatrogennego (IGE), choroby dekompresyjnej (DCS), zatrucia tlenkiem węgla lub cyjankiem, uszkodzeń wywołanych wdychaniem dymu, infekcji martwiczych tkanek miękkich, zmiążdżeń, zespołów uciskowo-niedokrwienne, ostrych pourazowych niedokrwieniach obwodowych, opornego zapalenia kości i szpiku, uszkodzonych płatów lub przeszczepów skóry oraz do wzmocnienia gojenia wybranych ran [1]. HBOT jest coraz częściej stosowana w różnych chorobach [2]. HBOT może być bezpiecznie stosowane na OIT i poprawiać rokowanie określonych patologii. Wzrost ciśnienia tlenu w tkankach powoduje szereg efektów fizjologicznych, takich jak wzrost zawartości tlenu we krwi tętniczej, naczyniowe skutki wywołane hiperoksycznym skurczem naczyń, z których najważniejszym efektem jest zmniejszenie obrzęków oraz zwalczanie infekcji i gojenie [3].

HBOT jest ogólnie metodą bezpieczną i dobrze tolerowaną, jednak podczas leczenia może dochodzić do pewnych powikłań [4]. Liczne badania wykazały mniej lub bardziej poważne niekorzystne skutki leczenia HBO spowodowane wysokim ciśnieniem lub wysokim stężeniem tlenu. Zwiększone ciśnienie może skutkować urazem ucha środkowego lub barotraumą płuc. Wysokie stężenie tlenu może wpływać szkodliwie na ośrodkowy układ nerwowy, płuca lub może prowadzić do powikłań ocznych [5]. Powikłania występujące podczas leczenia tlenem hiperbarycznym, poza podziałem na powikłania toksyczne tlenu i powikłania procesu sprężania, można podzielić na: krótkotrwałe, które prowadzą do przedwczesnego zakończenia danego sprężenia (takie jak: ból ucha lub ból zatok), ale nie wykluczają kontynuowania terapii, oraz powikłania, które wykluczają dalszą terapię w komorze (np. mózgowie lub oczne) [6]. Głównymi działaniami niepożądanymi HBOT są barotraumy i klaustrofobia. Występowanie barotraumy nie należy do rzadkości i może dotyczyć ucha środkowego (MEB), zębów, zatok i płuc [1]. Rzadziej, obserwowano drgawki związane z toksycznością tlenu i hipoglikemią. Niezwykle rzadko donoszono o urazie ciśnieniowym płuc [7]. Inne ujemne strony HBOT to: ograniczoną dostępność centrów hiperbarycznych, brak dostępu do natychmiastowej opieki medycznej w komorach hiperbarycznych i przewożenie pacjentów na duże odległości [8].

Osoby wymagające nagłego zastosowania HBOT są na ogół w stanie krytycznym, więc oprócz powikłań bezpośrednio związanych z HBOT mogą wystąpić u nich różne nieoczekiwane zdarzenia. HBOT w trybie nagłym jest zalecany w ciągu 24 godzin po ekspozycji na zatrucie CO. W wielu przypadkach HBOT jest więc inicjowany przed całkowitym poznanieniem stanu zdrowia pacjenta. HBOT przy wskazaniach ostrych należy wykonywać nie w komorze jednomiejscowej, ale w komorze wielomiejscowej, gdzie wyszkolony personel medyczny towarzyszy pacjentowi i może natychmiast wykryć zmiany w jego stanie [9].

W większości literatury HBOT uznawana jest za metodę bezpieczną. Jedynie pojedyncze badania donoszą o większej liczbie powikłań przy stosowaniu tlenoterapii

INTRODUCTION

HBOT is approved by The Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) and European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM) for the treatment of: iatrogenic gas embolism (IGE), decompression sickness (DCS), carbon monoxide or cyanide poisoning, smoke inhalation damage, necrotic soft tissue infections, crush injuries, pressure ischaemic syndromes, acute post-traumatic peripheral ischaemia, refractory osteitis, and bone marrow, damaged flaps or skin grafts, and to enhance the healing of selected wounds [1]. HBOT is more and more often used in different diseases [2]. HBOT can be safely used in the ICU and improve the prognosis of certain pathologies. The increase in tissue oxygen pressure causes a number of physiological effects, such as an increase in arterial oxygen content, the vascular effects of hyperoxic vasoconstriction, the most important of which is the reduction of oedema and the fight against infection and healing [3].

HBOT is generally a safe and well-tolerated method, but there may occur some complications during the therapy [4]. Numerous studies have shown more or less serious adverse effects of HBO treatment due to high blood pressure or high oxygen levels. Increased pressure can result in a middle ear injury or pulmonary barotrauma. High oxygen levels can damage the central nervous system, lungs, or lead to eye complications [5]. Complications occurring during treatment with hyperbaric oxygen, apart from the division into toxic complications of oxygen and complications of the compression process, can be divided into: short-term, which lead to premature termination of a given compression (such as: ear pain or sinus pain), but do not exclude continuation of the therapy, and complications that preclude further ventricular therapy (e.g. cerebral or ocular) [6]. The main side effects of HBOT are barotrauma and claustrophobia. Barotrauma is not uncommon and may affect the middle ear (MEB), teeth, sinuses, and lungs [1]. Less often convulsions related to oxygen toxicity and hypoglycaemia were observed. Pulmonary barotrauma has been reported extremely rarely [7]. Other disadvantages of HBOT are: limited availability of hyperbaric centres, lack of access to immediate medical care in hyperbaric chambers and transporting patients over long distances [8].

People who require urgent HBOT treatment are generally in critical condition, so in addition to complications directly related to HBOT, they may experience various unexpected events. Emergency HBOT is recommended within 24 hours after exposure to CO poisoning. In many cases, HBOT is thus initiated before the patient's state of health is fully known. Acute HBOT should be performed not in a single-site chamber, but in a multi-site chamber, where trained medical personnel accompanies the patient and can immediately detect changes in his condition [9].

In most papers HBOT is considered safe. Only a few studies report a higher number of complications with the use of hyperbaric oxygen therapy [6].

hiperbarycznej [6].

SKUTKI UBOCZNE HBOT

BAROTRAUMA UCHA ŚRODKOWEGO

Wśród wszystkich skutków ubocznych HBOT, MEB jest najbardziej powszechny (około 2%). MEB w raportach pacjentów charakteryzuje się dyskomfortem w uchu, zatknięciem lub uczuciem pełności w uchu oraz trudnością w wyrównaniu ciśnienia w uchu. Objawy MEB mogą obejmować oprócz uczucia ucisku w uszach, ból ucha, ból głowy, zawroty głowy, szumy uszne i utratę słuchu [4,10,11]. Przy braku opieki może dojść do obrzęku w uchu środkowym, a w rzadkich przypadkach pęknięcia błony bębenkowej. W przypadku gdy barotrauma dotyczy ucha wewnętrznego może dojść do upośledzenia wewnętrznej funkcja ucha, powodując zawroty głowy i czuciowo-nerwowy ubytek słuchu [10]. MEB jest najczęściej klasyfikowany przy użyciu skali TEED (0 - oznacza objawy bez otologicznych oznak urazu, 1 - wgłębienie błony bębenkowej, 2 - wgłębienie błony bębenkowej i lekki krwotok, 3 - duży krwotok w obrębie błony bębenkowej, 4 - wolna krew w uchu środkowym, o czym świadczy niebieskawy kolor i wyrzuczenie, 5 - perforacja błony bębenkowej) [4,10]. Zdecydowana większość przypadków MEB (84%) stanowiły TEED 1 lub TEED 2 bez epizodów pęknięcia [10]. Poziom dyskomfortu w uchu przy MEB szacuje się w skali od 0 (brak dyskomfortu) do 10 (maksymalny dyskomfort). Wyższy wynik wskazuje na wyższy poziom dyskomfortu podczas HBOT. Wyniki mierzy się na początku badania przed pierwszym HBOT, po pierwszych 5 kolejnych HBOT i po każdym 10 HBOT aż do dwudziestego HBOT. Przy wystąpieniu objawów MEB pacjent musi być poddany badaniu otoskopowemu w celu zdiagnozowania i sklasyfikowania zakresu urazu [4]. Ponad połowa objawów otologicznych związanych z HBOT występuje podczas pierwszej sesji w komorze. Spośród nich otalgia jest najczęstszą dolegliwością pacjentów otrzymujących HBOT. MEB występuje najczęściej, gdy osoby podczas HBOT nie są w stanie wyrównać gradientu ciśnienia między uchem środkowym a środowiskiem zewnętrznym. Jest to często wyniki złego funkcjonowania trąbki Eustachiusza (ET) z powodu wad wrodzonych, ograniczeń anatomicznych, zapalenia lub innych zmian patologicznych. Osoby z ograniczoną zdolnością otwierania trąbki Eustachiusza, tak jak dzieci, pacjenci w stanie śpiączki oraz osoby wspomagane wentylacją mechaniczną, mogą nie zrównoważyć ciśnienia podczas HBOT. MEB indukowane HBOT może być spowodowane nie tylko niepowodzeniem otwierania ET, ale także przekrwieniem błony śluzowej ucha środkowego [11].

Jedynie przy odpowiedniej ocenie MEB personel medyczny może decydować czy istnieje konieczność podjęcia leczenia. Może ono przybrać formę rozszerzonej edukacji uzupełniającej, interwencji medycznej lub interwencji chirurgicznej, takiej jak myringotomia i umieszczenie rurki wentylacyjnej. Metody zapobiegania MEB związanej z HBOT obejmują próbę Valsalvy i Toynbee, aby otworzyć trąbki Eustachiusza i ułatwić wyrównanie ciśnienia, stosowanie leków zmniejszających przekrwienie błony śluzowej nosa w celu zmniejszenia przekrwienia i obrzęku błony śluzowej ucha środkowego oraz profilaktyczną myringotomię lub umieszczenie rurki tympanostomijnej [4]. Zgłaszalność MEB u pacjentów

SIDE EFFECTS OF HBOT

MIDDLE EAR BAROTRAUMA

Of all the side effects of HBOT, MEB is the most common (around 2%). The MEB in patient reports is characterized by ear discomfort, a blockage or feeling of fullness in the ear, and difficulty equalizing pressure in the ear. Symptoms of MEB can include, in addition to the feeling of pressure in the ears, earache, headache, dizziness, tinnitus, and hearing loss [4,10,11]. In the absence of care, swelling can develop in the middle ear, and in rare cases, rupture of the eardrum. When barotrauma affects the inner ear, the inner ear function may be impaired, causing dizziness and sensorineural hearing loss [10]. MEB is most often classified using the TEED scale (0 - for symptoms without otological signs of injury, 1 - indentation of the tympanic membrane, 2 - cavity of the tympanic membrane and slight haemorrhage, 3 - large eardrum haemorrhage, 4 - free blood in the middle ear, as evidenced by a bluish color and bulge, 5 - perforation of the eardrum) [4,10]. The vast majority of MEB cases (84%) were TEED 1 or TEED 2 with no episodes of rupture [10]. The discomfort level in an ear in MEB is assessed in the scale from 0 (lack of discomfort) to 10 (maximum discomfort). A higher score indicates a higher level of discomfort during HBOT. The results are measured at the start of the study before the first HBOT, after the first 5 consecutive HBOT, and after every 10 HBOT until the twentieth HBOT. When symptoms of MEB occur, the patient must undergo an otoscopic examination to diagnose and classify the extent of the injury [4]. More than a half of the otological symptoms associated with HBOT occur during the first chamber session. Of these, otalgia is the most common complaint of patients receiving HBOT.

MEB occurs most often when people during HBOT are unable to equalize the pressure gradient between the middle ear and the external environment. It is often the result of Eustachian tube (ET) malfunction due to birth defects, anatomical limitations, inflammation, or other pathological changes. People with limited ability to open the Eustachian tube, such as children, coma patients and those assisted by mechanical ventilation, may not balance the pressure during HBOT. HBOT-induced MEB may be caused not only by ET failure, but also by middle ear mucosa hyperaemia [11].

Only with an appropriate evaluation of the MEB can healthcare professionals decide whether treatment is necessary. It can take the form of extended follow-up education, medical intervention, or a surgical intervention such as a myringotomy and placement of a ventilation tube. Methods of preventing HBOT-related MEB include the Valsalva and Toynbee maneuver to open the Eustachian tubes and facilitate pressure equalization, the use of nasal decongestants to reduce middle ear congestion and swelling, and prophylactic myringotomy or tympanostomy tube placement [4]. The reporting rate of MEB in patients undergoing HBOT varies significantly, ranging from 2% to 84% in non-intubated patients and over 94% in patients with a tube. The varied frequency range is due to different criteria for determining MEB, differences in the patient population, and differences in instructing the patient about pressure equalization in the middle ear. The occurrence of MEB depends on the rate of compression. Research has shown that a high compression rate (4.1 psi / min) increased the risk of MEB. In their work Heyboer et al. suggested that a very

poddawanych HBOT różni się istotnie i wynosi od 2% do 84% u pacjentów niezaintubowanych i powyżej 94% u pacjentów z rurką. Zróżnicowany zakres częstości występowania wynika z różnych kryteriów do określenia MEB, różnic w populacji pacjentów oraz różnic w instruowaniu pacjenta odnośnie wyrównania ciśnienia w uchu środkowym. Występowanie MEB jest zależne od szybkości kompresji. Badania wykazały, że wysoka szybkość kompresji (4,1 psi/mon) zwiększone ryzyko MEB. Heyboer i wsp. w swojej pracy zasugerowali, że bardzo wolne tempo kompresji (1 psi/min) również zwiększa ryzyko MEB. Najlepszym współczynnikiem kompresji dla minimalizacji MEB było 2 psi/min. Większe ryzyko MEB występuje podczas wstępnych zabiegów i nie wzrasta przy dłuższym cyklu leczenia. Długoterminowe następstwa MEB przy stosowaniu HBOT są rzadkie. Dotyczą one m.in. niedosłuchu odbiorczego, zaburzeń kosteczek słuchowych i przetok okołolimfatycznych [10].

BAROTRAUMA ZATOK PRZYNOSOWYCH

Barotrauma zatok przynosowych to druga najczęstsza po MEB barotrauma występująca w przypadku infekcji górnych dróg oddechowych lub alergicznego nieżyty nosa. Charakteryzuje się ona uczuciem ucisku, najczęściej odczuwanym nad zatokami czołowymi, powodując barosinusitis. Zmiany ciśnienia w fazie kompresji wewnątrz jam zatok podczas HBOT prowadzą do przekrwienia i obrzęku, któremu towarzyszy ból twarzy i paradoksalny ból w obrębie zatok, podczas dekompresji komory. Barosinusitis może czasami prowadzić do krwawienia z nosa (1 przypadek na 10 000 zabiegów) [10].

BAROTRAUMA PŁUC

Do barotraumy płuc (PBT) może dojść w wyniku nadmiernego rozdęcia płuc u pacjentów z ryzykiem uwięzienia powietrza podczas dekompresji, przy astmie, przewlekłej obturacyjnej chorobie płuc, aktywnym skurczu oskrzeli, zatłoczeniu śluzem lub pęcherzowych chorobach płuc oraz przy długotrwanie zamkniętej głośni. Zazwyczaj nie ma ryzyka wystąpienia PBT u pacjentów z prawidłowymi płucami i otwartą głośnią. Przy uszkodzeniu mięszu płuc może dojść do odmy śródpiersiowej, rozedmy podskórnej, krwotoku śródpiętnego i odmy opłucnowej. Odma śródpiętna i krwotoki śródpiętna mają tendencję do samoograniczania się i wymagają tylko konserwatywnej suplementacji tlenu do momentu ustąpienia zmian. Odma opłucnowa jest zjawiskiem potencjalnie zagrażającym życiu, ponieważ może szybko doprowadzić do zapaści sercowo-naczyniowej i śmierci, jeśli nie zostanie wprowadzona rurka torakostomijna. Pacjenci kierowani do HBOT muszą być dokładnie przebadani pod kątem choroby płuc, które mogą zwiększać ryzyko PBT. Przy PBT może dojść do tętniczego zatoru gazowego (AGE) w wyniku przechodzenia pęcherzyków powietrza do pękniętego naczynia płucnego. Pęcherzyki powietrza następnie przechodzą do lewego serca i dalej przez tętnice prowadząc do niedrożności naczyń krwionośnych w mózgu lub sercu. Główne objawy kliniczne AGE to: bezdech, utrata przytomności i zatrzymanie akcji serca. Pozostałe objawy to: utrata świadomości, splątanie, afazja, dyzartria, zawroty głowy, zaburzenia widzenia, czuciowe jednostronne i zaburzenia motoryczne i drgawki [10].

slow compression rate (1 psi / min) also increases the risk of MEB. The best compression ratio for minimizing the MEB was 2 psi / min. A greater risk of MEB occurs with initial treatments and does not increase with a longer treatment cycle. The long-term consequences of MEB from the use of HBOT are rare. They concern, among others, sensorineural hearing loss, auditory ossicles and peripolymphatic fistulas [10].

PARANASAL SINUSES BAROTRAUMA

Paranasal sinuses barotrauma it is the second most common barotrauma, after MEB, in upper respiratory tract infections or allergic rhinitis. It is characterized by a feeling of pressure most often felt over the frontal sinuses, causing barosinusitis. Pressure variations in the compression phase within the sinus cavities during HBOT lead to hyperaemia and swelling accompanied by facial pain and paradoxical sinus pain during ventricular decompression. Barosinusitis can sometimes lead to nosebleeds (1 in 10,000 treatments) [10].

PULMONARY BAROTRAUMA

Pulmonary barotrauma (PBT) can occur as a result of excessive pulmonary distension in patients at risk of air entrapment during decompression, asthma, chronic obstructive pulmonary disease, active bronchospasm, mucus congestion or vesicular lung disease, and with prolonged closed glottis. There is usually no risk of PBT in patients with normal lungs and an open glottis. Damage to the lung parenchyma may lead to pneumothorax, emphysema, intrapulmonary haemorrhage and pneumothorax. Mediastinal pneumothorax and pulmonary haemorrhage tend to be self-limiting and require only conservative oxygen supplementation until changes reverse. Pneumothorax is a potentially life-threatening phenomenon as it can rapidly lead to cardiovascular collapse and death if not inserted through a thoracostomy tube. Patients referred to HBOT must be carefully screened for lung disease, which may increase the risk of PBT. Along with PBT, arterial gas embolism (AGE) can occur as air bubbles pass into a ruptured pulmonary vessel. Air bubbles then travel to the left heart and further through the arteries, obstructing the blood vessels in the brain or heart. Main clinical symptoms of AGE are: apnoea, loss of consciousness and cardiac arrest. Other symptoms are: loss of consciousness, confusion, aphasia, dysarthria, dizziness, visual disturbances, unilateral sensory and motor disturbances and seizures [10].

CENTRAL NERVOUS SYSTEM OXYGEN TOXICITY

One of the side effects of HBO therapy is central nervous system oxygen toxicity. It occurs in about 1-4 out of 10,000 patients treated [12]. Breathing in high concentrations of pressurized oxygen may lead to seizures [1]. Convulsions are most often preceded by a local muscle contraction. This is followed by contractions of the clonic muscles of the head, followed by the neck, torso and limbs. Prodromal symptoms (occurring in <50% of cases) have also been reported, including trembling, staring, auditory hallucinations, visual changes, nausea, dizziness, restlessness and irritability. Then the tonic-clonic contractions quickly



TOKSYCZNOŚĆ TIENOWA OŚRODKOWEGO UKŁADU NERWOWEGO

Jednym ze skutków ubocznych terapii HBO jest toksyczność tlenowa ośrodkowego układu nerwowego. Występuje z częstością około 1-4 na 10 000 leczonych pacjentów [12]. Wdychanie wysokiego stężenia tlenu pod ciśnieniem może prowadzić do drgawek [1]. Konwulsje są najczęściej poprzedzone miejscowym skurczem mięśni. Następnie dochodzi do skurczów klonicznych mięśni głowy, a następnie szyi, tułowia i kończyn. Zgłaszano również objawy prodromalne (pojawiały się one w <50% przypadków) obejmujące drżenie, gapienie się, halucynacje słuchowe, zmiany wzrokowe, nudności, zawroty głowy, niepokój i drażliwość. Następnie szybko pojawiały się skurcze toniczno-kloniczne. Czynniki ryzyka wystąpienia toksyczności tlenowej przy leczeniu HBOT: zwiększone ciśnienie leczenia (2 vs 2,4/2,5 vs 2,8 ATA), guz mózgu/martwica radioaktywna tkanek miękkich mózgu, zatrucie tlenkiem węgla, hipoglikemia i nadczynność tarczycy [10]. Postać mózgową ostrego zatrucia tlenem, znana jako efekt Paula Berta może wystąpić gdy ciśnienie parcjalne tlenu (ppO₂) wynosi do 180 kPa [1].

PŁUCNA TOKSYCZNOŚĆ TIENOWA

Ciągła ekspozycja płuc na podwyższony poziom tlenu pod ciśnieniem atmosferycznym hiperbarycznym prowadzi do poważnych skutków toksycznych. Płucną toksyczność tlenową dzieli się na dwie zachodzące na siebie fazy: ostrą fazę wysiękowa i podostrą fazę proliferacyjną. W fazie wysiękowej zmiany płucne obejmują: obrzęk śródmiąższowy i pęcherzykowy, krwotok śródmiąższowy, wysięk włóknikowy, obrzęk błony szklistej oraz zniszczenie komórek śródmiąższka naczyń włosowatych i komórek nabłonka pęcherzyków płucnych typu I. Faza proliferacyjna charakteryzuje się zwłóknieniem śródmiąższowym, proliferacją fibroblastów i rozrostem komórek nabłonka pęcherzyków płucnych typu II. Dochodzi do zmniejszenia częstości i objętości wdechów i wydechów oraz zmniejszenia zdolności dyfuzji CO₂. Dochodzi do stopniowej redukcji pojemności życiowej. Szybkość wystąpienia płucnej toksyczności tlenowej koreluje z pO₂ i czasem ekspozycji. Do wystąpienia toksyczności tlenowej najczęściej dochodzi po 12–16 godz. przy 1,0 ATA, 8–14 godz. przy 1,5 ATA, oraz 3–6 godz. przy 2,0 ATA. Objawy pojawiają się jeszcze wcześniej przy 2,5 i 3,0 ATA, ale są łagodniejsze, ponieważ czas ekspozycji jest krótszy. Objawy płucnej toksyczności tlenowej początkowo mają postać łagodnego dyskomfortu podmostkowego. Przy utrzymywaniu się ekspozycji na tlen dochodzi do ucisku w klatce piersiowej, rozległego opłucnowego bólu w klatce piersiowej, kaszlu i duszności. Po zakończeniu ekspozycji w ciągu pierwszych kilku godzin zmniejsza się nasilenie objawów i zanikają one całkowicie w ciągu 1–3 dni. Można uniknąć toksyczności tlenowej w płucach poprzez dostarczanie tlenu w odpowiedniej dawce. Osoby narażone na hiperoksję przy 0,55 ATA przez 7 dni nie wykazały żadnych objawów toksyczności płucnej. Ekspozycja na 0,3 ATA przez 30 dni również nie powodowała toksyczności [10].

followed. Risk factors for oxygen toxicity in HBOT treatment: increased treatment pressure (2 vs 2.4 / 2.5 vs 2.8 ATA), brain tumour / radioactive necrosis of brain soft tissues, carbon monoxide poisoning, hypoglycaemia and hyperthyroidism [10]. The cerebral form of acute oxygen poisoning, known as the Paul Bert effect, can occur when the partial pressure of oxygen (ppO₂) is up to 180 kPa [1].

PULMONARY OXYGEN TOXICITY

Continuous exposure of the lungs to elevated levels of oxygen at hyperbaric atmospheric pressure leads to severe toxic effects. Pulmonary oxygen toxicity has two overlapping phases: the acute exudate phase and the subacute proliferative phase. In the exudate phase pulmonary changes include: interstitial and alveolar oedema, intra-vesical haemorrhage, fibrinous exudate, vitreous oedema, and destruction of endothelial cells of capillaries and type I alveolar epithelial cells. The proliferative phase is characterized by interstitial fibrosis, fibroblast proliferation, and proliferation of type II alveolar epithelial cells. The frequency and volume of inhalations and exhalations are reduced and the diffusion capacity of CO₂ is reduced. Gradual reduction in vital capacity occurs. The rate of onset of pulmonary oxygen toxicity correlates with pO₂ and exposure time. Oxygen toxicity most often occurs after 12–16 hours. at 1.0 ATA, 8–14 hours at 1.5 ATA, and 3–6 hours. at 2.0 ATA. Symptoms appear even earlier at 2.5 and 3.0 ATA, but are milder because the exposure time is shorter. Symptoms of pulmonary oxygen toxicity initially appear as mild substernal discomfort. Persistent oxygen exposure results in chest tightness, extensive pleural chest pain, coughing, and shortness of breath. After the end of exposure symptoms improve in the first few hours and completely disappear within 1–3 days. Oxygen toxicity in the lungs can be avoided by supplying the right amount of oxygen. Subjects exposed to hyperoxia at 0.55 ATA for 7 days showed no signs of pulmonary toxicity. Exposure to 0.3 ATA for 30 days also resulted in no toxicity [10].

OPHTHALMIC OXYGEN TOXICITY

Increased partial pressure of oxygen can harm many tissues, including the eye. Duration of exposure, PO₂, and many other variables (e.g., methods of oxygen delivery, age of individuals, presence of undiagnosed comorbidities) can influence the development of ocular symptoms of oxygen toxicity. Older people may develop cataracts, while young people may develop extra-lens fibroplasia. Hyperoxic myopia is one of the most common eye side effects.

Progressive myopia is the result of repeated treatments with HBOT. The rate of this change reported in the literature is 0.25 dioptres per week and is sustained throughout treatment. Myopia is reported in 25–100% of patients undergoing HBOT for several weeks at a pressure of 2.0 ATA and more. The exact mechanisms behind the onset of myopia are not fully understood. Careful ophthalmological examination prior to initiating HBOT is essential, especially in patients who will undergo an extended course of treatment. The myopia developed during HBOT is reversible after the end of the treatment. Recovery from baseline usually occurs within 3–6 weeks, but can take as long as 6–12 months. HBOT leads to an

OCZNA TOKSYCZNOŚĆ TLENOWA

Zwiększone ciśnienie parcjalne tlenu może szkodzić wielu tkankom, w tym ocznym. Czas trwania ekspozycji, PO₂ oraz wiele innych zmiennych (np. metody dostarczania tlenu, wiek osób, obecność niezdiagnozowane chorób współistniejących) może wpływać na rozwój ocznych objawów toksyczności tlenowej. U osób starszych może dojść do rozwoju zaćmy, natomiast u młodych do fibroplazji pozasoczewkowej. Hiperoksyjna krótkowzroczność jest jednym z najczęstszych ocznych skutków ubocznych. Postępująca krótkowzroczność jest efektem powtarzanych zabiegów z użyciem HBOT. Szybkość tej zmiany opisana w literaturze wynosi 0,25 dioptrii na tydzień i postępuje przez cały czas trwania leczenia. Krótkowzroczność odnotowana jest u 25–100% pacjentów poddawanych HBOT przez kilka tygodni pod ciśnieniem 2.0 ATA i więcej. Dokładne mechanizmy wystąpienia krótkowzroczności nie są w pełni poznane. Istotne jest dokładne badanie okulistyczne przed rozpoczęciem stosowania HBOT, szczególnie u pacjentów, którzy będą podlegać przedłużonemu cyklowi leczenia. Powstała podczas HBOT krótkowzroczność jest odwracalna po odstawieniu leczenia. Powrót do wartości wyjściowych zwykle następuje w ciągu 3–6 tygodni, ale może zająć nawet 6–12 miesięcy. HBOT prowadzi do wzrostu pO₂ oraz stężenia ROS we krwi i tkankach, w tym w podścielisku rogówki, mogąc prowadzić do powstawania zaćmy. Do rozwoju zaćmy dochodzi dopiero po przedłużonej ekspozycji na tlen hiperbaryczny, zwykle 150 zabiegów lub więcej. Dokładny mechanizm powstawania zaćmy przy stosowaniu HBOT nie jest poznany. Kluczową rolę przy długotrwałym narażeniu na HBOT odgrywa uszkodzenie oksydacyjne białka soczewki [10].

KLAUSTROFOBIA

Klaustrofobia może wystąpić u pacjentów z zachowaną świadomością, zwłaszcza w komorach jednomiejscowych [1]. U około 2% ogólnej populacji pacjentów może występować pewien stopień niepokoju związanego z zamknięciem, nawet w przypadku komór wielomiejscowych. Niepokój w komorach jednomiejscowych zgłaszany jest w 8 przypadkach na 10 000 zabiegów. Łagodny lęk można opanować sedacją przed zabiegami. Ciężkie przypadki mogą wymagać skierowania do psychiatry lub psychologa i terapii poznawczo-behawioralnej, ćwiczeń relaksacyjnych lub długiej terapii lekowej. Objawy klaustrofobii mogą obejmować: pocenie się, wzrost ciśnienia krwi, kołatanie serca, hiperwentylację, zawroty głowy, dławienie się, ucisk w klatce piersiowej, drżenie, niepokój, ból głowy lub dezorientację [10]. Część osób nie jest w stanie kontynuować i ukończyć leczenia. Można poprawić wskaźniki ukończenia leczenia poprzez lepszą komunikację z pacjentem, identyfikację osób zagrożonych klaustrofobią i inicjowanie odpowiednich działań profilaktycznych [7]. Edukacja pacjenta, uspokojenie i coaching to skuteczne środki zapobiegania epizodom klaustrofobii przed HBOT [10].

increase in pO₂ and ROS concentration in the blood and tissues, including the stroma of the cornea, which can lead to the formation of cataracts. Cataracts develop only after prolonged exposure to hyperbaric oxygen, usually 150 treatments or more. The exact mechanism of cataract formation with HBOT is not known. The oxidative damage to the lens protein plays a key role in long-term exposure to HBOT [10].

CLAUSTROPHOBIA

Claustrophobia may occur at patients who are conscious, especially in one-place chambers [1]. About 2% of the general patient population may have some degree of anxiety about occlusion, even in multi-place chambers. Restlessness in one-place chambers is reported in 8 cases out of 10,000 procedures. Mild anxiety can be managed with sedation prior to procedures. Severe cases may require a referral to a psychiatrist or psychologist for cognitive behavioural therapy, relaxation exercises, or long drug therapy. Signs of claustrophobia may include: sweating, increase in blood pressure, palpitations, hyperventilation, dizziness, choking, chest tightness, tremors, restlessness, headache or confusion [10]. Some people are unable to continue and complete their treatment. Treatment completion rates can be improved by better communicating with the patient, identifying people at risk of claustrophobia, and initiating appropriate preventive measures [7]. Educating patients, relaxing and coaching are effective ways to prevent claustrophobia episodes before HBOT [10].

PULMONARY OEDEMA

Patients with impaired left ventricular function during HBOT have a theoretical risk of pulmonary edema. Based on the available studies, Heyboer et al. showed that the risk is low. The incidence in two studies was 1 in 1,000 (0.1%) and 1 in 4,500 (0.02%). The aetiology of pulmonary oedema appears to be related to hyperbaric oxygenation, which induces increased systemic vascular resistance and decreased cardiac output. Pulmonary oedema can also occur as a result of increased pulmonary capillary pressure, damage to the heart muscle, use of endothelial NO by anaerobic free radicals, or an imbalance of cardiac output between the right and left hearts. In patients with congestive heart failure, echocardiography should be performed prior to HBOT and caution should be exercised. Patients should not be overloaded with fluids [10].

HYPOLYCEMIA

HBOT affects residual insulin secretion in diabetics and increases the utilization of glucose in the brain. This can lead to hypoglycemia during HBOT in diabetic patients. The minimum serum glucose concentration before surgery ranges from as high as 150 mg / dl to as low as 100 mg / dl. Data collected by Heyboer et al. show that in diabetics, during HBOT, there is an average decrease in serum glucose levels, but with a large extent and a high percentage of patients who actually had an increase in serum glucose. There is no clear risk of any risk factors for developing hypoglycaemia. The results of the presented studies show that only in a few cases the patients experienced symptomatic hypoglycaemia [10].



OBRZEK PŁUC

Podczas HBOT u pacjentów z zaburzeniami funkcja lewej komory istnieje teoretyczne ryzyko wystąpienia obrzęku płuc. W oparciu o dostępne badania Heyboer i wsp. wykazali, że ryzyko to jest niskie. Częstość występowania w dwóch badaniach wynosiła 1 na 1000 (0,1%) i 1 na 4500 (0,02%). Etiologia obrzęku płuc wydaje się być związana z hiperbarią tlenową, która indukuje zwiększony ogólnoustrojowy opór naczyniowy oraz zmniejszoną pojemność minutową serca. Do obrzęku płuc może dojść również w wyniku zwiększonego ciśnienia włośniczkowego płuc, uszkodzenia mięśnia sercowego, zużycia NO pochodzącego ze śródbłotka przez wolne rodniki beztlenowe lub brak równowagi rzutu serca między prawym i lewym sercem. U pacjentów z zastoinową niewydolnością serca przed HBOT należy wykonać echokardiografię i zachować ostrożność. Pacjenci nie powinni być przeciążeni płynami [10].

HIPOGLIKEMIA

HBOT wpływa na resztkowe wydzielanie insuliny u diabetyków i wzrost utylizacji glukozy w mózgu. Może to prowadzić u chorych na cukrzycę do hipoglikemii podczas HBOT. Minimalne stężenie glukozy w surowicy przed zabiegiem zawierają się od wysokiego 150 mg/dl do niskiego jak 100 mg/dl. Z danych zebranych przez Heyboera i wsp. wynika, że u diabetyków podczas HBOT dochodzi do średniego spadku poziomu glukozy w surowicy, ale z dużym zasięgiem i wysokim odsetkiem pacjentów, którzy rzeczywiście mieli wzrost poziomu glukozy w surowicy. Nie ma wyraźnego ryzyka wystąpienia czynników ryzyka rozwoju hipoglikemii. Z przedstawionych badań wynika, że tylko w nielicznych przypadkach pacjenci mieli objawową hipoglikemię [10].

WYNIKI PRZEGLĄDU BADAŃ

1.

Kobielska i Chrapusta w swojej pracy przedstawiły wszystkie zdarzenia niepożądane zaobserwowane w ciągu sześciu lat, w trakcie leczenia 1981 pacjentów (od 8 miesięcy do 97 lat) w komorze hiperbarycznej wielomiejscowej. Wszystkich pacjentów przeszkolono w sposobach wyrównywania ciśnienia w uszach. Za powikłanie uznawano każdy stan, który przyczynił się do przerwania terapii, albo przed zakończeniem cyklu sprężenia, albo w trakcie danego sprężenia (konieczność wcześniejszej dekompresji pacjenta). W badanej grupie każdy pacjent przeżył 1–60 sesji. U 185 pacjentów trakcie sprężenia doszło do problemów z wyrównaniem ciśnienia w uszach. Zakwalifikowano to jako działanie niepożądane procesu sprężania. Niewyrównane ciśnienie w uszach zaobserwowano u 9,34% pacjentów. Przeszkolono ich ponownie ze sposobów wyrównywania ciśnienia w uszach. Większość z nich w trakcie kolejnych sesji prawidłowo wyrównywała ciśnienia. 39 pacjentów z grupy 185 wymagało konsultacji laryngologicznej. Z grupy 39 pacjentów 18 zostało wyłączonych z HBOT z powodu zdyskwalifikowania ich przez laryngologa lub z innych, niepodanych powodów. 21 pacjentów kontynuowało terapię. W grupie 1981 leczonych pacjentów istotne powikłania wystąpiły u 17 osób (0,86%). Stwierdzono następujące powikłania:

RESULTS OF THE RESEARCH REVIEW

1.

In their work Kobielska and Chrapusta presented all the adverse events observed over six years during the treatment of 1,981 patients (from 8 months to 97 years) in a hyperbaric multi-site chamber. All patients were trained on how to equalize the pressure in the ears. Any condition that contributed to the discontinuation of therapy was considered a complication, either before the end of the compression cycle or during a given compression (necessity of prior decompression of the patient). Each patient in the researched group had 1-60 sessions. In 185 patients, there were problems with the equalization of pressure in the ears during the compression. This qualified as an adverse reaction to the compression process. Unbalanced pressure in the ears was observed in 9.34% of patients. They were re-trained on how to equalize the pressure in the ears. Most of them have done it correctly in the following sessions. 39 patients out of 185 required consultation with a laryngologist. From the group of 39 patients, 18 were excluded from HBOT due to their disqualification by a laryngologist or for other, unspecified reasons. 21 patients continued therapy.

In the group of 1,981 treated patients, significant complications occurred in 17 patients (0.86%). The following complications were found:

- sudden myopia - 4 patients (0.2%);
- dyspnoea and chest pain - 3 patients (0.15%);
- sinus pain that made it impossible to conduct HBOT - 3 patients (0.15%);
- middle ear barotrauma - 2 patients (0.1%);
- convulsions and disturbances of consciousness related to the toxicity of hyperbaric oxygen - 2 persons (0.1%);
- dyspnoea resolving after leaving the chamber - 2 people (0.1%);
- chest pain with acute coronary syndrome - 1 person (0.05%).

During HBOT, 4 (0.2%) people were diagnosed with claustrophobia. It was not considered a complication of hyperbaric treatment, but it resulted in discontinuations of treatment. Two patients reported claustrophobia before starting treatment. They were qualified for treatment because claustrophobia is only a relative contraindication in hyperbaric oxygen therapy, especially in multi-site chambers. Both patients started treatment, however, even with sedatives, they were unable to attend the sessions [6].

The research conducted by Kobielska and Chrapusta shows that HBOT is a safe method with a low risk of complications, which can be used in many different acute and chronic diseases [6].

2.

Bessereau et al. have conducted a 6-year prospective study on 150 patients (11 children and 139 adults) requiring mechanical ventilation during HBOT. The indications for the use of HBOT and the occurrence of side effects were analyzed. The results were compared according to the presence or absence of acute respiratory distress syndrome (ARDS). The main causes of intubation and mechanical ventilation were carbon monoxide poisoning (51%) and iatrogenic gas embolism (33%). ARDS occurred in 35 patients. ICU mortality in the ARDS

- nagła krótkowzroczność – 4 chorych (0,2%);
- duszność i ból w klatce piersiowej – 3 pacjentów (0,15%);
- ból zatok, który uniemożliwił przeprowadzenie HBOT – 3 pacjentów (0,15%);
- uraz ciśnieniowy ucha środkowego – 2 pacjentów (0,1%);
- drgawki i zaburzenia świadomości związane z toksycznością tlenu hiperbarycznego – 2 osoby (0,1%);
- duszność ustępująca po opuszczeniu komory – 2 osoby (0,1%);
- ból w klatce piersiowej z zespołem wieńcowym ostrym – 1 osoba (0,05%).

W trakcie HBOT u 4 (0,2%) osób stwierdzono klaustrofobię. Nie uznano jej za powikłanie hiperbarii, jednak wpłynęło to na przerwanie leczenia. Dwóch chorych zgłosiło klaustrofobię przed włączeniem do leczenia. Zostali oni zakwalifikowani do leczenia, ponieważ klaustrofobia jest tylko przeciwwskazaniem względnym w terapii tlenem hiperbarycznym, zwłaszcza w komorach wielomiejscowych. Obydwaj pacjenci podjęli terapię, jednak nawet przy zastosowaniu leków uspokajających nie byli w stanie uczestniczyć w sesjach [6].

Z przeprowadzonego przez Kobielską i Chrapustę badania wynika, że HBOT jest metodą bezpieczną z niskim ryzykiem powikłań, którą można stosować w wielu różnych ostrych i przewlekłych chorobach [6].

2.

Bessereau i wsp. przeprowadzili w ciągu 6 lat badania prospektywne na 150 pacjentach (11 dzieciach i 139 dorosłych) wymagających wentylacji mechanicznej podczas HBOT. Przeanalizowano wskazania do stosowania HBOT oraz występowanie skutków ubocznych. Wyniki porównano w zależności od występowania lub braku zespołu ostrej niewydolności oddechowej (ARDS). Głównymi przyczynami intubacji i wentylacji mechanicznej było zatrucie tlenkiem węgla (51%) i jatrogeny zator gazowy (33%). ARDS występował u 35 pacjentów. Śmiertelność na OIT w grupie ARDS sięgała 23%. Skutki uboczne zaobserwowane podczas badania to: zatrzymania krążenia u 2 pacjentów (1,6%); napady padaczkowe u 2 pacjentów (1,6%) i ciężki wstrząs pomimo stosowania leków inotropowych u 3 pacjentów (2,4%). Napady padaczkowe występowały jedynie u osób z IGE [1].

3.

Respiratorowe zapalenie płuc (VAP) jest główną przyczyną poważnych zakażeń na OIOM-ie i wiąże się ze znaczną zachorowalnością. Stosowanie HBOT u pacjentów poddawanych wentylacji mechanicznej może zwiększać narażenie na niektóre czynniki ryzyka, takie jak hiperoksemia i konieczność wielokrotnego przenoszenia. Caplan i wsp. w swoim retrospektywnym badaniu obserwacyjnym przeprowadzonym na 10-łóżkowym OIOM-ie oceniali związek między HBOT a VAP. Do badania zakwalifikowano pacjentów otrzymujących wentylację mechaniczną (MV) przez ponad 48 godzin. VAP oceniano na podstawie kryteriów klinicznych i radiologicznych. U 42 (23%) ze 182 włączonych do badania pacjentów wystąpił przynajmniej jeden epizod VAP. HBOT otrzymało 124 (68%) pacjentów.

group reached 23%. Side effects observed during the study were: cardiac arrest in 2 patients (1.6%); seizures in 2 patients (1.6%) and severe shock despite inotropic drugs in 3 patients (2.4%). Seizures only occurred in people with IGE [1].

3.

Ventilator-associated pneumonia (VAP) is the leading cause of serious infections in the ICU and is associated with significant morbidity. The use of HBOT in patients undergoing mechanical ventilation may increase the exposure to some risk factors, such as hyperoxemia and the need for multiple transfers. In their retrospective observational research, led on 10-bed ICU, Caplan et al. evaluated the relation between HBOT and VAP. Patients who received mechanical ventilation (MV) for more than 48 hours were enrolled in the study. VAP was assessed based on clinical and radiological criteria. 42 (23%) of 182 patients enrolled in the study experienced at least one episode of VAP. HBOT was received by 124 (68%) patients. The frequency of VAP was 34 per 1000 days of ventilator use. The occurrence of VAP was significantly associated with immunosuppression, duration of MV, length of stay, re-intubation, in-hospital transport, use of paralyzing drugs, tracheotomy, and prone position. The conducted research prompts the authors to question the influence of HBOT on the frequency of VAP in the analysed ward, where 2,500 HBOT sessions are performed each year in patients, half of whom are ventilated and intubated. The occurrence of VAP was not associated with the use of HBOT. More experimental and clinical research is needed to understand the effects of HBOT on the incidence of VAP and on the physiological microbiome [3].

Oxygen therapy is a common form of treatment in intensive care. It prevents hypoxia and improves the distribution of oxygen in the tissues. However, studies suggest an association between exposure to hyperoxemia and worsening prognosis in various situations. Even moderate hyperoxemia (arterial oxygen partial pressure (PaO₂) > 100 mmHg) is associated with increased mortality. In a meta-analysis cited by Caplan et al., involving more than 16,000 ICU patients, patients treated with oxygen had a dose-dependent increased risk of short- and long-term mortality. In critically ill patients, exposure to hypoxaemia may lead to various consequences, e.g., changes in mucociliary clearance and cellular immunity, reduction in surfactant synthesis, and denitrification promoting atelectasis. They can cause acute hyperoxic lung injury and contribute to the development of VAP [3].

The study by Hadanna et al. and Thorsen et al. presented by Caplan et al. showed that 60 daily sessions in 2 ATA with 100% oxygen had no significant effect on forced vital capacity and lung function. This supports the hypothesis that hyperoxemia, used in hyperbaric therapy, does not adversely affect the dynamic volume of the lungs [3].

4.

In case of carbon monoxide poisoning oxygen hyperbaric therapy is widely used in the prevention of delayed neuropsychiatric syndrome. Cho et al. in their work described the case of a 31-year-old man diagnosed with CO poisoning undergoing HBOT in a multi-site chamber. The first HBOT session was uneventful. During the second HBOT session, the patient experienced sudden

Częstość występowania VAP wynosiła 34 na 1000 dni stosowania respiratora. Występowanie VAP było istotnie związane z immunosupresją, czasem trwania MV, długością pobytu, reintubacją, transportem wewnątrzszpitalnym, zastosowaniem leków paralizujących, tracheotomią i pozycją na brzuchu. Przeprowadzone badania składają autorów do zakwestionowania wpływu HBOT na częstość występowania VAP na analizowanym oddziale, gdzie każdego roku wykonuje się 2500 sesji HBOT u pacjentów, z których połowa jest wentylowana i zaintubowana. Występowanie VAP nie było związane z zastosowaniem HBOT. Potrzebne są dalsze badania eksperymentalne i kliniczne, aby zrozumieć wpływ HBOT na występowanie VAP i na mikrobiom fizjologiczny [3].

Terapia tlenowa jest powszechną formą leczenia w intensywnej opiece. Zapobiega niedotlenieniu oraz poprawia dystrybucję tlenu w tkankach. Jednak badania sugerują związek między narażeniem na hiperoksemię a pogorszeniem rokowania w różnych sytuacjach. Nawet umiarkowana hiperoksemia (tętnicze ciśnienie parcjalne tlenu (PaO₂) > 100 mmHg) wiąże się ze zwiększoną śmiertelnością. W przytoczonej przez Caplana i wsp. metaanalizie, obejmującej ponad 16 000 pacjentów OIOM-u, chorzy leczeni tlenem mieli zależne od dawki zwiększone ryzyko śmiertelności krótko- i długoterminowej. U pacjentów w stanie krytycznym narażenie na hiperoksemię może doprowadzić do różnych konsekwencji, np.: zmiana klirensu śluzoworzęskowego i odporności komórkowej, zmniejszenie syntezy surfaktantów, odazotowania sprzyjającego niedodmie. Mogą one powodować ostre hiperoksydacyjne uszkodzenie płuc i przyczynić się do wystąpienia VAP [3].

W przedstawionym przez Caplana i wsp. badaniu Hadanny i wsp. i Thorsen i wsp. wykazano, że 60 dziennych sesji w 2 ATA 100% tlenem nie miało znaczącego wpływu na natężoną pojemność życiową oraz funkcję płuc. Potwierdza to hipotezę, że hiperoksemia, stosowana w hiperbarii, nie ma niekorzystnego wpływu na dynamiczną objętość płuc [3].

4.

Tlenoterapia hiperbaryczna w przypadku zatrucia tlenkiem węgla jest szeroko stosowana w zapobieganiu opóźnionemu zespołowi neuropsychiatrycznemu. Cho i wsp. w swojej pracy opisali przypadek 31-letniego mężczyzny z rozpoznaniem zatrucia CO poddanego HBOT w komorze wielomiejscowej. Pierwsza sesja HBOT przebiegła bez powikłań. W czasie drugiej sesji HBOT u pacjenta wystąpiły nagłe napady drgawkowe. Lekarz w celu zatrzymania drgawek podał propofol i przerwał HBOT. Wkrótce po drgawkach u pacjenta pojawiła się pienista wydzielina w rurce dotchawiczej oraz upośledzone utlenianie. W tomografii komputerowej głowy nie stwierdzono nieprawidłowości, co sugeruje powiązanie napadu ze stosowaniem HBOT. W RTG klatki piersiowej stwierdzono obustronny obrzęk płuc. W badaniu echokardiograficznym nie stwierdzono zaburzeń czynności serca, co wskazuje, że obrzęk płuc wynikał z HBOT. Stan oddechowy pacjenta poprawił się. Nie doszło do nawrotu napadu. Nie zaobserwowano również późniejszych następstw neurologicznych. Przedstawione nieoczekiwane zdarzenia niepożądane, drgawki i obrzęk płuc, są niezwykle rzadkie podczas HBOT, a ich jednoczesne występowanie nie zostało odnotowane. Główne powikłania HBOT obejmują barotraume

seizures. The doctor administered propofol to stop the convulsions and discontinued the HBOT. Soon after the seizures, the patient developed foamy discharge in the endotracheal tube and impaired oxygenation. No abnormalities were found in computed tomography of the head, which suggests a connection between the seizure and the use of HBOT. The chest X-ray revealed bilateral pulmonary oedema. Echocardiography showed no cardiac dysfunction, indicating that the pulmonary oedema was due to HBOT. The patient's respiratory condition improved. The seizure did not recur. No subsequent neurological sequelae were observed either. The presented unexpected adverse events, convulsions and pulmonary edema, are extremely rare during HBOT and their concomitant occurrence has not been reported. The major complications of HBOT include barotrauma and oxygen toxicity.

The exact mechanism underlying HBOT complications is not fully understood. In this case, convulsive seizures are believed to be related to CNS oxygen toxicity, as they did not occur prior to initiation of therapy and did not recur after stopping HBOT, and there was no other clear cause for their occurrence in the patient [9].

5.

HBOT is increasingly used in medicine to enhance the formation of collagen matrix and angiogenesis, which promotes the healing of wounds and necrotic tissues. Oxygen may also be associated with increased production of oxygen free radicals and oxidative stress. The imbalance in the production of free radicals causes a harmful modification of biological macromolecules. Studies from the last 50 years have shown the participation of free radical production in the emergence of an increasing number of diseases, such as hyperoxic lung disease, atherosclerosis, early retinopathy, Parkinson's disease and some forms of cancer. A reliable measure of the oxidative stress assessment are F₂-isoprostanes (F₂-IsoPs) formed as a result of non-enzymatic oxidation of arachidonic acid (AA). Under high oxygen pressure conditions, isofurans (IsoF) are formed from AA and better reflect the oxidative stress under high oxygen pressure conditions. A study by Corcoran et al. Measured IsoF and F₂-IsoP in plasma in patients receiving HBOT for the treatment of osteonecrosis secondary to radiotherapy. Blood samples were taken from 12 patients (9 men and 3 women) before, during and after HBO treatment, which lasted 119 minutes. Seven serial blood samples were taken. The reason for using HBOT was radiation cystitis (6 people), tooth extraction (4 people) and osteoradionecrosis prophylaxis (2 people). The hypothesis was that as the oxygen pressure increases, the IsoFs will continue to increase, in contrast to the F₂-IsoP, the synthesis of which will decrease. However, no significant changes in plasma IsoF or F₂-IsoP were observed during the HBOT session. In this study, HBOT at a pressure of 2.4 atm and a maximum of 100% oxygen did not worsen the oxidative stress assessed by plasma F₂-IsoF and IsoP. The lack of an increase in IsoFs or F₂-IsoPs in the study suggests that although HBOT increases oxygen partial pressure with benefits for a wide variety of cellular processes, there is an antioxidant capacity to prevent increases in oxidative stress throughout the body.

The use of oxygen, especially under superphysiological pressure, may increase systemic oxidative stress and lead to overproduction of oxygen free radicals.

i toksyczność tlenową. Dokładny mechanizm leżący u podstaw powikłań HBOT nie jest w pełni poznany. Uważa się, że w omawianym przypadku drgawki konwulsyjne są związane z toksycznością tlenu w ośrodkowym układzie nerwowym, ponieważ nie występowały one przed rozpoczęciem terapii i nie nawracały po zaprzestaniu HBOT oraz nie stwierdzono innej wyraźnej przyczyny ich wystąpienia u pacjenta [9].

5.

HBOT jest coraz częściej stosowany w medycynie we wzmacnianiu tworzenia macierzy kolagenowej i angiogenezy, co sprzyja gojeniu ran i tkanek martwiczych. Tlen może również wiązać się ze zwiększoną produkcją wolnych rodników tlenowych i stresem oksydacyjnym. Brak równowagi w produkcji wolnych rodników powoduje szkodliwą modyfikację makrocząsteczek biologicznych. Badania z ostatnich 50 lat wskazywały udział produkcji wolnych rodników w powstawaniu coraz większej liczby chorób, np.: hiperoksydacyjnej choroby płuc, miażdżycy, wczesnej retinopatii, choroby Parkinsona oraz niektórych form raka. Wiarygodną miarą oceny stresu oksydacyjnego są F2-izoprostany (F2-IsoPs) powstające w wyniku nieenzymatycznego utleniania kwasu arachidonowego (AA). W warunkach wysokiego ciśnienia tlenu izofurany (IsoF) są tworzone z AA i lepiej odzwierciedlają stres oksydacyjny w warunkach wysokiego ciśnienia tlenu. Badanie przeprowadzone przez Corcorana i wsp. miało na celu pomiar IsoF i F2-IsoP w osoczu u pacjentów otrzymujących HBOT w celu leczenia martwicy kości wtórnej do radioterapii. Od 12 pacjentów (9 mężczyzn i 3 kobiet) pobrano próbki krwi przed, w trakcie i po zaprzestaniu terapii HBO, która trwała 119 min. Pobrano siedem seryjnych próbek krwi. Przyczyną stosowania HBOT było popromienne zapalenie pęcherza moczowego (6 osób), ekstrakcja zębów (4 osoby) oraz profilaktyka osteoradionekrozy. (2 osoby). Hipoteza była taka, że wraz ze wzrostem ciśnienia tlenu IsoFs będą nadal rosły, w przeciwieństwie do F2-IsoP, których synteza będzie malała. Jednak podczas sesji HABOT nie zaobserwowano znaczących zmian w IsoF lub F2-IsoP w osoczu. W tym badaniu HBOT przy ciśnieniu 2,4 atm i maksymalnie 100% tlenie nie pogorszyła stresu oksydacyjnego ocenianego za pomocą osoczowych F2- IsoF i IsoP. Brak wzrostu IsoFs lub F2-IsoPs w badaniu sugeruje, że chociaż HBOT wpływa na zwiększenie ciśnienia parcjalnego tlenu, zapewniając korzyści dla wielu różnych procesów komórkowych, istnieje zdolność antyoksydacyjna, żeby zapobiec wzrostowi stresu oksydacyjnego w całym organizmie.

Stosowanie tlenu, szczególnie pod ciśnieniem ponadfizjologicznym, może zwiększać ogólnoustrojowy stres oksydacyjny oraz prowadzić do nadprodukcji wolnych rodników tlenowych. Nie ma jednak danych dotyczących tworzenia IsoF lub IsoP w warunkach oddychania tlenem pod zwiększonym ciśnieniem atmosferycznym [2].

6.

Evanger i wsp. oceniali zmiany krótkowzroczności podczas stosowania HBOT. W swoim badaniu określali dwa razy w tygodniu przez sześć tygodni refrakcję oka, grubość rogówki, promień rogówki, moc rogówki, astygmatyzm rogówki i ciśnienie wewnątrzgałkowe u pacjentów przed i bezpośrednio po wielokrotnych ekspozycjach na tlen hiperbaryczny

However, there are no data on the formation of IsoF or IsoP under conditions of breathing oxygen at elevated atmospheric pressure [2].

6.

Evanger et al. assessed changes in myopia during the use of HBOT. In their study, they determined eye refraction, corneal thickness, corneal radius, corneal strength, corneal astigmatism and intraocular pressure twice a week for six weeks before and immediately after repeated exposures to hyperbaric oxygen during HBOT. The study involved 23 patients receiving oxygen at a pressure of 2.4 ATA for 90 minutes a day for six weeks, five days a week, in one-place chambers. Within six weeks of treatment, there was a significant shift in myopia in both eyes. Reversal of myopia, corneal thinning, and lowering of intraocular pressure appeared after a single exposure to HBO2 but resolved by the time patients returned for the next session [13].

Changes in myopia are often described in patients treated with hyperbaric oxygenation. Temporary myopia is dose-dependent and increases with the number of exposures. After one HBOT session, the studies showed corneal thinning in healthy volunteers. Patients in a hyperbaric chamber show a reduced intraocular pressure measured immediately after exposure [13].

HBOT influences the eye's refraction that develops as the number of exposures increases. The conducted study also revealed a short-term effect on the ocular variables immediately after exposure to HBO, which was not found on the next measurement before the therapy [13].

A case of a patient in whom a change in hyperopia immediately replaced the change in myopia after each of the two HBOT series was also described [13].

The authors also found a reduction in corneal thickness in both eyes immediately after each of the 12 HBOT sessions. Corneal thickness returned to pre-treatment values before the patient returned for the next follow-up visit [13].

Exposure to HBO can increase corneal metabolism and endothelial pump function, resulting in loss of corneal fluid and causes corneal thinning. Corneal thinning occurred after each of the 12 HBO exposures [13].

The intraocular pressure showed an overall trend to lower values after exposure to HBO2. In other studies, no change in IOP was observed in patients when measured several hours after treatment. The time between the end of the HBO2 exposure and the ocular measurement made may affect the measurement result [13].

Evanger et al. came to conclusion that change in myopia developed in accordance with the number of exposures to HBO2. Reversal of myopia change, corneal thinning, and a reduction in intraocular pressure occurred as immediate effects after a single exposure to HBO2, but resolved by the next measurement visit. Short-term effects appear to be of little clinical significance [13].

7.

Hagan et al. described a case of a 52-year-old woman who developed visual impairment in the form of bilateral nuclear and cortical cataracts after 46 procedures out of 60 scheduled sessions due to a non-healing irradiation leg wound. After the initial treatments, the patient noticed a slight blurring of vision in both eyes.

podczas HBOT. W badaniu wzięło udział 23 pacjentów otrzymujących tlen pod ciśnieniem 2,4 ATA przez 90 minut dziennie, przez sześć tygodni, pięć dni w tygodniu, w komorach jednomiejscowych. W ciągu sześciu tygodni terapii wystąpiło znaczne przesunięcie krótkowzroczności w obu oczach. Odwrócenie krótkowzroczności, ścięczenie rogówki i obniżenie ciśnienia wewnątrzgałkowego pojawiły się po pojedynczej ekspozycji na HBO₂, ale ustępowały, zanim pacjenci przychodzili na kolejną sesję [13].

Zmiany krótkowzroczności często opisywane są u pacjentów leczonych hiperbarią tlenową. Wielkość czasowo występującej krótkowzroczności jest uzależniona od dawki i wzrasta z liczbą ekspozycji. Po jednej sesji HBOT u zdrowych ochotników w badaniach wykazano ścięczenie rogówki. U pacjentów w komorze hiperbarycznej stwierdza się obniżone ciśnienie wewnątrzgałkowe mierzone bezpośrednio po ekspozycji [13].

HBOT wpływa na refrakcję oka rozwijającą się wraz ze wzrostem liczby ekspozycji. Przeprowadzone badanie ujawniło również krótkoterminowy wpływ na zmienne oczne natychmiast po ekspozycji na HBO, których nie stwierdzano przy kolejnym pomiarze przed terapią [13].

Opisano również przypadek pacjenta, u którego zmiana nadwzroczności natychmiast zastąpiła zmianę krótkowzroczności po każdej z dwóch serii HBOT [13].

Autorzy stwierdzili również zmniejszenie grubości rogówki w obu oczach natychmiast po każdej z 12 sesji HBOT. Grubość rogówki wracała do wartości sprzed leczenia przed zgłoszeniem się pacjenta na kolejną wizytę kontrolną [13].

Ekspozycja na HBO może zwiększyć metabolizm rogówki i działanie pompy śródłonkowej, co skutkuje utratą płynu rogówkowego i powoduje ścięczenie rogówki. Rozrzedzenie rogówki występowało po każdej z 12 ekspozycji na HBO [13].

Ciśnienie śródgałkowe wykazało ogólny trend do niższych wartości po ekspozycji na HBO₂. W innych badaniach, przy pomiarach kilka godzin po leczeniu, u pacjentów nie zaobserwowano zmiany ciśnienia wewnątrzgałkowego. Czas między zakończeniem ekspozycji na HBO₂ a wykonaniem pomiarem ocznym może mieć wpływ na wynik pomiaru [13].

Evanger i wsp. doszli do wniosku, że zmiana krótkowzroczności rozwinęła się zgodnie z liczbą ekspozycji na HBO₂. Odwrócenie zmiany krótkowzroczności, ścięczenie rogówki i zmniejszenie ciśnienia śródgałkowego wystąpiły jako skutki natychmiastowe po pojedynczej ekspozycji na HBO₂, ale ustępowały przed kolejną wizytą pomiarową. Skutki krótkoterminowe wydają się mieć niewielkie znaczenie kliniczne [13].

7.

Hagan i wsp. opisali przypadek 52-letniej kobiety, u której podczas terapii HBO₂ rozwinęło się upośledzenie wzroku w postaci obustronnej zaćmy jądrowej i korowej po 46 zabiegach z zaplanowanych 60 sesji z powodu niegojącej się popromiennej rany nogi. Po początkowych zabiegach pacjentka zauważyła lekkie rozmycie widzenia w obu oczach. Przed leczeniem poinformowano ją, że jest to powszechne i zazwyczaj wraca do normy po terapii. Po kilkudziesięciu zabiegach HBOT pacjentka zauważyła dramatyczne pogorszenie widzenia w obu oczach. Zdiagnozowano obuoczną zaawansowaną zaćmę przyspieszoną przez HBOT.

She was informed prior to treatment that this was common and usually returns to normal after treatment. After several dozen HBOT treatments, the patient noticed dramatically decreased vision in both eyes. I was diagnosed with binocular advanced cataract accelerated by HBOT. The purchase of multi-focal glasses was recommended. The patient reported unsatisfactory vision even with glasses. Cataract extraction was performed by phacoemulsification and an intraocular lens was placed in one eye and surgery on the other eye was scheduled later. The leg ulcer healed completely. The literature reviewed by the authors shows that this is the earliest case of cataract formation. It has been hypothesized that in the case of cataracts during HBOT, the generated oxygen free radicals can damage many tissues, especially the delicate lens. During HBO₂ therapy, most often after long-term procedures, cataracts may develop or be accelerated. In the study by Palmquist et al. cited by Hagan et al. conducted on 15 patients who underwent ophthalmological examinations before HBOT, without diagnosed cataracts, in 7 (46.6%) after 150 procedures, the development of not fully reversible cataracts was found. The incidence of cataracts during and after HBOT is not fully understood, but it may be permanent and progressive. Before using HBOT, a complete, extended ophthalmological examination should be considered [14].

8.

The aim of the paper by Jakinen et al. was to analyse the frequency of adverse events during hyperbaric oxygen therapy in 2012-2015. In this analysis, events were defined as ear / sinus barotrauma, ventricular confinement anxiety, hypoglycemia, oxygen toxicity, pneumothorax, seizures, and dyspnoea. A retrospective study was conducted. The data for analysis was taken from health records containing information on 1,529,859 hyperbaric treatments used during 53,371 treatment courses in outpatient wound care centres in the United States. Of 1.5 million HBOT procedures, 0.68% were associated with adverse events. The most commonly reported events were barotrauma and confinement anxiety. Serious adverse events were extremely rare, with less than 0.05 cases of oxygen toxicity per 1,000 procedures and only 1 confirmed case of pneumothorax. In this study, barotrauma was defined as a complication of pressure equalization in the middle of the ear or sinus. Patients typically reported pain related to inability to equalize pressure in the ears. Fear of incarceration was identified when a patient in the chamber verbalized or signaled a desire to end treatment due to claustrophobia. Hypoglycaemia without accompanying seizures has been identified with blood glucose levels less than 70 mg / dL in diabetic patients.

Oxygen toxicity was identified by: blurred or tunnel vision, irritability (i.e. a marked change in behaviour), nausea, facial tremors, ringing or tinnitus, and dizziness. Adverse events were extremely rare during HBO therapy. During 99.3% of all HBOT procedures, no adverse event was recorded. The most frequent events were ear / sinus barotrauma (0.37%), followed by anxiety related to occlusion (0.16%) and symptomatic hypoglycaemia (0.08%). More serious events such as seizures (0.02%) and non-seizure oxygen toxicity (0.01%) were very rare. Pulmonary barotrauma was identified only in 1 case. Treatment related to the adverse event was shorter than without. Treatments where the patient complained of barotrauma and the fear of confinement had the shortest average duration, just over

Zalecono zakup okularów wielogniskowych. Pacjentka zgłosiła niezadowalające widzenie nawet w okularach. Przeprowadzono usunięcie zaćmy metodą fakoemulsyfikacji i założono soczewkę wewnątrzgałkową na jedno oko i zaplanowano operację drugiego oka później. Owrzodzenie nogi zostało wyleczone całkowicie. Z przejranej przez autorów literatury wynika, że jest to najwcześniejszy przypadek tworzenia się zaćmy. Postawiono hipotezę, że w przypadku zaćmy podczas HBOT wytwarzane wolne rodniki tlenowe mogą uszkadzać wiele tkanek, zwłaszcza delikatną soczewkę. Podczas terapii HBO₂, najczęściej po długotrwałych zabiegach może dochodzić do powstawania zaćmy lub do jej przyspieszenia. W przytoczonym przez Hagana i wsp. badaniu Palmquista i wsp. przeprowadzonym na 15 pacjentach poddanych badaniom okulistycznym przed HBOT, bez zdiagnozowanej zaćmy, u 7 (46,6%) po 150 zabiegach stwierdzono rozwinięcie się nie w pełni odwracalnej zaćmy. Częstość powstawania zaćmy podczas i po HBOT nie jest do końca poznana, ale może być trwała i postępująca. Przed zastosowaniem HBOT należy rozważyć przeprowadzenie u pacjenta pełnego, rozszerzonego badania okulistycznego [14].

8.

Celem pracy Jakinena i wsp. było przeanalizowanie częstości występowania niekorzystnych zdarzeń podczas terapii tlenem hiperbarycznym w latach 2012-2015. W tej analizie zdarzenia zdefiniowano jako barotrauma ucha/zatok, lęk związany z zamknięciem w komorze, hipoglikemia, toksyczność tlenowa, odma opłucnowa, drgawki i duszność. Przeprowadzono badanie retrospektywne. Dane do analizy zaczerpnięto z dokumentacji zdrowotnej zawierającej informacje o 1 529 859 zabiegach hiperbarycznych zastosowanych podczas 53 371 kursów leczenia w ambulatoryjnych ośrodkach leczenia ran w Stanach Zjednoczonych. Spośród 1,5 miliona zabiegów HBOT 0,68% wiązało się ze zdarzeniami niepożądanymi. Najczęściej zgłaszano barotraumę i lęk związany z zamknięciem. Poważne zdarzenia niepożądane były niezwykle rzadkie, mniej niż 0,05 przypadków toksyczności tlenowej na 1000 zabiegów i tylko 1 potwierdzony przypadek odmy opłucnowej. W tym badaniu barotraumę zdefiniowano jako powikłanie wyrównywania ciśnienia w środkowej części ucho lub zatoka. Pacjenci zazwyczaj zgłaszali ból w związku z: niemożnością wyrównania ciśnienia w uszach. Lęk przed uwięzieniem identyfikowano, gdy pacjent w komorze werbalizował lub sygnalizował chęć zakończenia leczenia z powodu klaustrofobii. Hipoglikemię bez towarzyszącego napadu drgawkowego identyfikowano przy poziomie glukozy we krwi mniejszy niż 70 mg/dl u pacjentów z cukrzycą. Toksyczność tlenową identyfikowano przy: niewyraźnym lub tunelowym widzeniu, drażliwości (tj. wyraźnej zmianie w zachowaniu), nudnościach, drganiach twarzy, dzwonieniu lub szumie w uszach i zawrotach głowy. Podczas terapii HBO zdarzenia niepożądane występowały niezwykle rzadko. Podczas 99,3% wszystkich zabiegów HBOT nie zarejestrowano żadnego zdarzenia niepożądanego. Najczęściej występujące zdarzeniem była barotrauma ucha/zatok (0,37%), a następnie lęk związany z zamknięciem w komorze (0,16%) i objawowa hipoglikemia (0,08%). Poważniejsze zdarzenia, takie jak drgawki (0,02%) i toksyczność tlenowa bez towarzyszących drgawek (0,01%) występowała bardzo rzadko. Urazu ciśnieniowy płuc

an hour. Patients were less prone to adverse events during treatment. HBOT treatments in which an event occurred were more frequently observed at higher pressure values, confirming previous findings that the risk of an event increases with increasing pressure. Patients experiencing the events typically had slightly more than 1 event per treatment cycle. The results of the conducted study indicate that the occurrence of HBOT-related adverse events is rare and usually harmless. The use of HBO therapy in accordance with appropriate therapeutic protocols is a safe procedure with a low risk of complications. Patient education and pre-treatment precautions will help with some of the more common events, such as shutdown anxiety and hypoglycaemia, which may be further reduced [7].

9.

Lin et al. conducted przeprowadzili a systematic review of the literature and a meta-analysis of randomized controlled trials assessing HBO therapy and its impact on neuropsychometric dysfunction following CO poisoning. A comparison was made of neuropsychological dysfunctions in 492 patients (from two studies) with more severe CO poisoning, who initially lost consciousness or were in a coma and received 1 or 2 HBOT sessions. Both studies showed that 2 HBOT sessions had no advantage over 1 session. Memory impairment (8.9% vs 18.3%) and difficulty concentrating (6.1% vs 13.4%) were significantly lower in the group that received one session of HBO treatment compared to the group that received two sessions [8].

10.

In their work Meng et al. investigated on 90 patients (53 patients who were administered plums and 37 patients in the control group) the effect of consumption of dried salted plums on MEB and otalgia associated with HBO₂ therapy. The overall prevalence of MEB after the first HBOT session was 38.9%. MEB occurred in 39.6% of patients treated with plum and in 37.8% of patients in the control group. Otagia occurred in 5.7% of patients treated with plum and in 18.9% of patients in the control group. The severity of otalgia was higher in the control group. The conducted research shows that consumption of dried salted plum does not reduce the incidence of MEB, but may alleviate its severity. The authors found that the incidence of otalgia after the first HBO session was 11.1% lower than the incidence of MEB. The prevalence of MEB in previous studies ranged from 8% to 68.7% [11].

11.

People under HBO₂ therapy cannot develop decompression sickness (DCS) because oxygen is consumed in the tissues and there is no possibility of supersaturation. Arterial gas embolism (AGE) is possible during HBO₂ therapy due to pulmonary barotrauma (damage due to stretching of the lungs during decompression in HBOT). Moon in his work emphasized that during his over 30 years of care for patients undergoing HBOT and volunteers tested in hyperbaric chambers, there were only two cases of gas embolism due to exposure in a hyperbaric chamber (compared to several thousand due to diving and / or accidental intravascular air injection). Both cases occurred due to a rupture of pulmonary cysts in patients with severe lung disease who were at particular risk of developing these

zidentyfikowano tylko w 1 przypadku. Leczenie związane ze zdarzeniem niepożądanym było krótsze niż bez. Zabiegi podczas których pacjent skarżył się na barotraumę, i lęk przed zamknięciem miał najkrótszy średni czas trwania, nieco ponad godzinę. Pacjentki były mniej podatne na zdarzenia niepożądane podczas leczenia. Zabiegi HBOT, w których wystąpiło zdarzenie, były częściej obserwowane przy wyższych wartościach ciśnienia, co potwierdza wcześniejsze ustalenia, że ryzyko wystąpienia zdarzenia wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia. Pacjenci, doświadczający zdarzeń, zazwyczaj mieli nieco więcej niż 1 zdarzenie na cykl leczenia. Wyniki z przeprowadzonego badania wskazują, że występowanie zdarzeń niepożądanych związanych z HBOT jest rzadkie i zazwyczaj niegroźne. Stosowanie terapii HBO zgodnie z odpowiednimi protokołami terapeutycznymi jest zabiegiem bezpiecznym o niskim ryzyku powikłań. Edukacja pacjenta i środki ostrożności przed leczeniem, pomogą w niektórych z częściej występujących zdarzeń, takich jak lęk przed zamknięciem i hipoglikemia, mogą zostać jeszcze bardziej zredukowane [7].

9.

Lin i wsp. przeprowadzili systematyczny przegląd literatury i metaanalizę randomizowanych badań kontrolowanych oceniających terapię HBO i jej wpływ na dysfunkcję neuropsychometryczną po zatruciu CO. Porównano dysfunkcje neuropsychologiczne występujące u 492 pacjentów (z dwóch badań) z cięższym zatruciem CO, u których wystąpiła początkowo utrata przytomności lub byli w śpiączce i otrzymali 1 lub 2 sesje HBOT. Oba badania wykazały, że 2 sesje HBOT nie miały przewagi nad 1 sesją. Upośledzenie pamięci (8,9% vs 18,3%) i trudności z koncentracją (6,1% vs 13,4%) były zdecydowanie niższe w grupie, która otrzymała jedną sesję leczenia HBO w porównaniu z grupą, która otrzymała 2 sesje [8].

10.

Meng i wsp. w swojej pracy badali na 90 pacjentach (53 pacjentów, którym podawano śliwkę i 37 w grupie kontrolnej) wpływ spożycia suszonych solonych śliwek na MEB i otalgii związaną z terapią HBO2. Ogólna częstość występowania MEB po pierwszej sesji HBOT wyniosła 38,9%. MEB wystąpił u 39,6% pacjentów którym podawano śliwkę i u 37,8% pacjentów z grupy kontrolnej. Otaglia występowała u 5,7% pacjentów, którym podawano śliwkę i u 18,9% pacjentów z grupy kontrolnej. Stopień nasilenia otalgii był wyższy w grupie kontrolnej. Z przeprowadzonych badań wynika, że spożycie suszonej solonej śliwki nie zmniejsza częstości występowania MEB, ale może złagodzić jej nasilenie. Autorzy odkryli, że częstość występowania otalgii po pierwszej sesji HBO jest o 11,1% niższe niż częstość występowania MEB. Częstość występowania MEB we wcześniejszych badaniach wahała się od 8% do 68,7% [11].

11.

U osób podczas terapii HBO2 nie może wystąpić choroba dekompresyjna (DCS), ponieważ tlen jest zużywany w tkankach i nie ma możliwości przesycenia. Podczas terapii HBO2 możliwe jest wystąpienie tętniczego zatoru gazowego (AGE) z powodu barotraumy płuc (uszkodzenie z powodu rozciągania płuc podczas dekompresji w HBOT). Moon w swojej pracy podkreślił, że podczas jego ponad 30 letniej opieki nad pacjentami poddawany HBOT oraz ochotnikami badanymi

types of complications. About 1.3 million hyperbaric treatments are performed annually in the USA. The risk of AGE from HBOT is likely to be less than one in several million treatments. Paralysis due to gas embolism from HBOT is extremely rare and its risk can be controlled by patient selection [15].

12.

Middle ear barotrauma is a common complication of ventricular compression in hyperbaric oxygen therapy. There is little evidence on the optimal compression protocol to minimize the incidence and severity of MEB. Ng et al. compared the frequency of MEB occurrence during hyperbaric oxygen therapy using two different ventricular compression protocols in a single-center, double-blind, randomized controlled trial on 100 participants (74 men and 26 women) undergoing the first HBOT session. Patients were randomly assigned to a graded (n = 50) or linear (n = 50) compression protocol. Photographs of the eardrums were taken before and after treatment and then scored. The incidence of MEB in the staged protocol was 48% (in 24 subjects), and in the linear protocol was 62% (in 31 subjects). Thus, the staging protocol did not show a significant reduction in the occurrence of MEB compared to the gold standard, the linear protocol. The staged protocol, however, reduced the severity of symptoms in MEB compared to the linear protocol. Eight subjects (16.0%) in the staged compression group and 12 subjects (24.0%) in the linear compression group did not continue the treatment. 1 participant (2.0%) in the staged group and 3 participants (6.0%) in the linear group did not complete the treatment. Painless hyperbaric treatment was reported in 84% (42 people) according to the staged protocol and 88% (44 people) according to the linear protocol. In order to minimize middle ear barotrauma, further research is needed to determine the optimal compression protocol [16].

13.

Tran and Smart described in their study the case of a 43-year-old man with type 2 diabetes, treated with insulin for 28 years, who suffered from treatment-resistant bilateral plantar ulcers. The patient was scheduled for 40 sessions of hyperbaric oxygen treatment at a pressure of 243 kPa for 90 minutes. The patient's ophthalmic history revealed the presence of bilateral proliferative diabetic retinopathy (PDR) three years earlier, which was treated by panretinal photocoagulation (PRP). Three months before HBOT was used, the patient underwent phacoemulsification and the insertion of an intraocular lens in the left eye. The same procedures had been done a year before in the right eye. One week before his first HBOT session, the patient underwent a fundus examination which confirmed non-proliferative diabetic retinopathy (NPDR) without PDR symptoms. After the fifth HBOT session, the patient underwent a routine ophthalmological check-up. A fundus examination revealed pre-retinal haemorrhage and PDR in the left eye. Treatment with PRP was applied. Visual acuity has not changed. During the examination three weeks later, after another 12 HBOT sessions, increasing proliferative changes in both eyes were found. Bevacizumab was injected and PRP was applied. Visual acuity in both eyes remained unchanged. HBOT was withheld to resolve the proliferative phase of retinopathy. It is unclear whether the sudden progression of NPDR to PDR was associated with HBOT, recent cataract surgery, or other factors

w komorach hiperbarycznych doszło tylko do dwóch przypadków zatoru gazowego z powodu narażenia w komorze hiperbarycznej (w porównaniu do kilku tysięcy z powodu nurkowania i/lub przypadkowego donaczyniowego wstrzyknięcia powietrza). Oba przypadki wystąpiły z powodu pęknięcia torbieli płucnych u pacjentów z ciężką chorobą płuc, którzy byli szczególnie narażeni na tego typu komplikacje. W USA rocznie wykonywanych jest około 1,3 miliona zabiegów hiperbarycznych. Ryzyko AGE z powodu HBOT jest prawdopodobnie mniejsze niż jeden na kilka milionów zabiegów. Porażenie wywołane zatorowością gazową w wyniku HBOT jest wyjątkowo rzadkie, a jego ryzyko może być kontrolowane przez dobór pacjentów [15].

12.

Barotrauma ucha środkowego jest powszechnym powikłaniem podczas kompresji komory w tlenoterapii hiperbarycznej. Istnieje niewiele dowodów na temat optymalnego protokołu kompresji w celu zminimalizowania częstości występowania i nasilenia MEB. Ng i wsp. porównali częstość występowania MEB podczas tlenoterapii hiperbarycznej przy użyciu dwóch różnych protokołów kompresji komory, przeprowadzając jednośrodkową podwójnie ślepą, randomizowaną próbę kontrolowaną na 100 uczestnikach (74 mężczyznach i 26 kobietach) poddawanych pierwszej sesji HBOT. Pacjentów losowo przypisano do stopniowego (n=50) lub liniowego (n=50) protokołu kompresji. Zdjęcia błon bębenkowych wykonano przed i po leczeniu, a następnie oceniono. Częstość występowania MEB w protokole etapowym wyniosła 48% (u 24 osób), a w protokole liniowym 62% (u 31 osób). Zatem protokół etapowy nie wykazał znaczącego zmniejszenia występowania MEB w porównaniu ze złotym standardem - protokołem liniowym. Protokół etapowy jednak wpłynął na zmniejszenie nasilenia objawów w MEB w porównaniu z protokołem liniowym. U 8 uczestników (16,0%) w grupie kompresji etapowej i u 12 uczestników (24,0%) w grupie kompresji liniowej doszło do przerwania leczenia. U 1 uczestnika (2,0%) w grupie etapowej i 3 uczestników (6,0%) w grupie liniowej nie dokończono leczenia. Bezbolesne leczenie hiperbaryczne zgłoszono u 84% (u 42 osób) według protokołu etapowego i 88% (u 44 osób) według protokołu liniowego. W celu zminimalizowania barotraumy ucha środkowego potrzebne są dalsze badania, które pozwolą określić optymalny protokół kompresji [16].

13.

Tran i Smart opisali w swojej pracy przypadek 43-letniego mężczyzny z cukrzycą typu 2, leczonego insuliną przez 28 lat, który cierpiał na obustronne owrzodzenia podeszwy odporne na leczenie. U pacjenta zaplanowano 40 sesji leczenia tlenem hiperbarycznym pod ciśnieniem 243 kPa przez 90 minut. Wywiad okulistyczny pacjenta wykazał występowanie trzy lata wcześniej obustronnej proliferacyjnej retinopatii cukrzycowej (PDR), którą leczono metodą panfotokoagulacji (PRP). Trzy miesiące przed zastosowaniem HBOT pacjent przeszedł fakoemulsyfikację i założenie soczewki wewnątrzgałkowej do lewego oka. Ten sam zabieg w prawym oku wykonano rok wcześniej. Tydzień przed jego pierwszą sesją HBOT u pacjenta wykonano badanie dna oka, które potwierdziło nieproliferacyjną retinopatię cukrzycową (NPDR) bez objawów PDR. Po piątej sesji

[17].

14.

Uluyol et al. performed a study of 47 non-diabetic patients treated with HBO to evaluate the effect on the nasal mucociliary clearance (MCC) of short- and long-term exposure to hyperbaric oxygen. The participants, according to the adopted number of HBOT sessions, were divided into 2 groups. The short-term HBOT group consisted of 19 patients who received <11 HBOT sessions. The long-term HBOT group consisted of 28 patients who received more than 15 sessions. The mucociliary clearance was measured in patients 3 times: before, after completion and 6 months after HBOT. Both short- and long-term exposure to HBO had an important impact on MCC after ending the treatment. Only long-term exposure to HBO prolonged the MCC in the long-term assessment (6 months after HBOT). Based on the results, the authors concluded that long-term exposure to HBO can cause irreversible damage to the MCC compared to short-term exposure, and that HBOT affects MCC in a dose-dependent manner. This is alarming because of the prevalence of middle ear, paranasal sinus or respiratory infections in patients undergoing HBOT. With long-term use of HBOT, patients should be monitored and informed about the possible negative effects of the therapy. MCC is an essential defense mechanism in the respiratory system. Abnormalities in MCC lead to residual secretions and recurrent infections of the middle ear, sinus and lower respiratory tract. Impairment of MCC may result from impaired ciliary movement or increased mucus viscosity. Patients undergoing HBOT should be monitored and informed about possible side effects [18].

15.

Wang et al. Assessed the effect of HBOT on the progression of latent tuberculosis infection (LTBI) to active tuberculosis (TB). The authors analysed 2,258 patients divided into two groups: the group of patients undergoing HBOT and the group of patients without HBOT. Each group consisted of 1129 patients. One year after the use of hyperbaric oxygen, the number of cases of active tuberculosis was significantly higher in the HBOT group compared to the group without HBOT (11 cases vs. 1 case). Multiple regression analysis showed that hyperbaric oxygen therapy was the only statistically significant factor influencing tuberculosis activation. The conducted research shows that HBOT will reactivate tuberculosis. Patients at high risk of tuberculosis should undergo a tuberculin test or interferon-gamma release testing prior to HBOT to identify individuals with LTBI [19].

16.

Seizures associated with oxygen poisoning are a known complication of hyperbaric oxygen therapy. Warchol et al. reported a case in which a seizure and a stroke occurred together. The authors believe that the stroke may have been caused by seizure-induced ischaemia. This challenges the accepted view that seizures in oxygen poisoning during HBOT are mild. An 80-year-old man after a cerebrovascular accident (CVA) without residual deficit, with mild chronic obstructive pulmonary disease (COPD), coronary artery disease, chronic kidney disease and peripheral vascular disease, underwent hyperbaric oxygen treatment for a non-healing toe ulcer with due to arterial insufficiency. The

HBOT pacjenta poddawano rutynowej kontroli okulistycznej. Badanie dna oka wykazało krwotok przedsiatkówkowy i PDR w lewym oku. Zastosowano leczenie PRP. Ostrość wzroku nie uległa zmianie. Podczas badania trzy tygodnie później, po kolejnych 12 sesjach HBOT, stwierdzono nasilające się zmiany proliferacyjne w obu oczach. Wstrzyknięto bevacizumab i zastosowano PRP. Ostrość wzroku w obu oczach pozostała niezmienną. Wstrzymano HBOT w celu ustąpienia fazy proliferacyjnej retinopatii. Nie jest jasne, czy nagła progresja NPDR do PDR była związana z HBOT, niedawną operacją zaćmy lub innymi czynnikami [17].

14.

Uluyol i wsp. w celu oceny wpływu na klirens śluzowo-rzęskowy nosa (MCC) krótko- i długoterminowej ekspozycji na tlen hiperbaryczny przeprowadzili badanie 47 pacjentów bez cukrzycy leczonych HBO. Uczestnicy, według przyjętej liczby sesji HBOT, zostali podzieleni na 2 grupy. Grupę krótkoterminową HBOT, stanowiło 19 pacjentów, którzy otrzymali <11 sesji HBOT. Grupę długoterminową HBOT, stanowiło 28 pacjentów, którzy otrzymali więcej niż 15 sesji. Pomiar klirensu śluzoworzęskowego wykonywano u pacjentów 3 razy: przed, po zakończeniu i 6 miesięcy po HBOT. Zarówno krótkotrwała, jak i długotrwała ekspozycja na HBO miała istotny wpływ na MCC po zakończeniu leczenia. Tylko długotrwała ekspozycja na HBO wpływała na wydłużenie MCC w ocenie długoterminowej (6 miesięcy po HBOT). Autorzy na podstawie wyników wysunęli wnioski, że długotrwałe narażenie na HBO może spowodować nieodwracalne uszkodzenie MCC w porównaniu z narażeniem krótkoterminowym oraz, że HBOT wpływa na MCC w zależności od dawki. Jest to niepokojące z powodu występowania u pacjentów poddawanych HBOT infekcji ucha środkowego, zatok przynosowych lub dróg oddechowych. Przy długoterminowym stosowaniu HBOT pacjenci powinni być monitorowani i informowani o możliwych negatywnych skutkach terapii. MCC jest istotnym mechanizmem obronnym układu oddechowego. Zaburzenia w MCC prowadzą do zalegania wydzieliny i nawracających infekcji ucha środkowego, zatokowo przynosowych i dolnych dróg oddechowych. Upośledzenie MCC może wynikać z upośledzonego ruchu rzęsek lub zwiększonej lepkości śluzu. Pacjenci poddawani HBOT powinni być monitorowani i informowani o możliwych skutkach ubocznych [18].

15.

Wang i wsp. ocenili wpływ HBOT na progresję utajonego zakażenia gruźlicą (LTBI) do aktywnej gruźlicy (TB). Autorzy przeanalizowano 2258 pacjentów podzielonych na dwie grupy: grupę pacjentów poddanych HBOT i grupę pacjentów bez HBOT. Każda grupa składała się z 1129 pacjentów. Rok po zastosowaniu tlenu hiperbarycznego liczba przypadków aktywnej gruźlicy była istotnie wyższa w grupie HBOT w porównaniu do grupy bez HBOT (11 przypadków vs. 1 przypadek). Analiza regresji wielokrotnej wykazała, że terapia tlenem hiperbarycznym była jedynym statystycznie istotnym czynnikiem wpływającym na aktywację gruźlicy. Z przeprowadzonych badań wynika, że HBOT wywołuje reaktywację gruźlicy. Pacjenci dużego ryzyka gruźlicy powinni przejść test tuberkulinowy lub testy uwalniania interferonu-gamma przed HBOT w celu identyfikacji osób z LTBI [19].

patient underwent the first HBOT session (90 minutes at 243 kPa) in a single-site chamber without any incidents. The patient tolerated the second procedure well until decompression. At the end of decompression, staff noticed that the patient was unresponsive, with aphasia, inability to obey commands in the left upper limb, spastic, clumsy right hand movements, and rhythmic smacking movements. The patient developed a tonic-clonic seizure lasting approximately 90 seconds. The patient was thought to have developed a seizure during HBOT as a result of CNS oxygen toxicity. The seizure was believed to have influenced the onset of a stroke. Further HBOT sessions were judged to be of greater risk than benefit, and treatment was discontinued. There have been no previous reports of an acute cerebral ischaemic event as a result of an epileptic seizure in oxygen poisoning associated with HBOT. Seizures during HBOT are a known complication and occur at a frequency of 0.03%. The incidence increases with pressure and may be almost absent at or below 202 kPa (2.0 ATA). Reducing the therapeutic pressure can greatly reduce or eliminate the risk of a seizure. Epileptic seizures of oxygen poisoning are most often manifested by tonic-clonic seizures, but focal seizures can also occur. In the analyzed case, the patient had both lip twitching and a tonic-clonic seizure [20].

17.

Metronidazole (MNZ) is prescribed for the treatment of infections caused by anaerobic bacteria and protozoa. Metronidazole-induced encephalopathy (MIE) is a side effect of this medication. In their work Yamamoto et al. presented the case of a 68-year-old man with osteomyelitis, who received metronidazole and the HBO therapy (2.0 ATA, 60 min) five times for 49 days. 47 days after starting treatment with metronidazole. After treatment with HBO five times, the patient developed MIE symptoms (peripheral neuropathy, speech disorders, nausea, hearing loss and gait disturbance). After stopping both MNZ and HBOT therapy, neurological symptoms quickly improved within 5 days. Peripheral neuropathy lasted for several weeks. This is the first reported case of MIE associated with HBOT. Although HBO therapy is effective in treating osteomyelitis, it may be one of the risk factors for MIE [20].

18.

In a prospective study by Lee et al. On 1,308 patients (10,425 treatments) who received HBOT, 5 had seizures (patients with CO poisoning: n = 4; patients with arterial gas embolism: n = 1). Seizure frequency in patients with CO poisoning (0.148%) and AGE (3.448%). None of the patients had lasting effects due to the seizures. Seizures have been observed in patients with CO and AGE poisoning [21].

19.

Edinguele et al. conducted a five-year retrospective study on 2610 patients. 262 patients (10.04%) experienced MEB while on HBOT. Women were more affected by this complication than men. The risk factors were: age over 55, female gender, diseases of the ear, nose and throat (cancer, infections or allergies, malformations or benign neoplasms) and diseases of other systems and addictions (smoking, obstructive breathing disorders, thyroid disorders, obesity). During HBOT sudden deafness, altered mobility of the eardrum and delayed wound healing occurred. The MEB event was

16.

Napady drgawkowe związane z zatruciem tlenem są znanym powikłaniem leczenia tlenem hiperbarycznym. Warchol i wsp. opisali przypadek, w którym napad drgawkowy i udar mózgu wystąpiły razem. Autorzy uważają, że udar mógł być spowodowany niedokrwieniem wywołanym napadem. Podważa to przyjęty pogląd, że napady drgawkowe w zatruciu tlenem podczas HBOT są łagodne. 80-letni mężczyzna po incydencie naczyniowo-mózgowym (CVA) bez deficytu resztkowego, z łagodną przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP), chorobą wieńcową, przewlekłą chorobą nerek i chorobą naczyń obwodowych, przeszedł leczenie tlenem hiperbarycznym z powodu nie gojącego się owrzodzenia palca stopy z powodu niewydolności tętniczej. Pierwszą sesję HBOT (90 minut przy 243 kPa) w komorze jednomiejscowej pacjent przeszedł bez incydentów. Drugi zabieg pacjent dobrze tolerował do momentu dekompresji. Pod koniec dekompresji personel zauważył, że pacjent słabo reaguje, wystąpiła afazja, niezdolność do wykonywania poleceń w lewej górnej kończynie, spastyczne, niezdarne ruchy prawej ręki i rytmiczne ruchy młaskania. U pacjenta wystąpił napad toniczno-kloniczny trwający około 90 sekund. Uważano, że u pacjenta podczas HBOT doszło do napadu padaczkowego w wyniku toksyczności tlenowej ośrodkowego układu nerwowego. Uważano, że napad wpłynął na wystąpienie udaru mózgu. Uznano, że dalsze sesje HBOT wiążą się z większym ryzykiem niż korzyściami, więc leczenie przerwano. Wcześniej nie odnotowano przypadków ostrego incydentu niedokrwinnego mózgu będącego wynikiem napadu padaczkowego w zatruciu tlenowym związanym z HBOT. Napady padaczkowe podczas HBOT są znanym powikłaniem i występują z częstością 0,03%. Częstość występowania zwiększa się wraz z ciśnieniem i może prawie nie występować przy 202 kPa (2,0 ATA) lub niższych. Zmniejszenie ciśnienia terapeutycznego może znacznie złagodzić lub wyeliminować ryzyko wystąpienia napadu. Napady padaczkowe zatrucia tlenem objawiają się najczęściej drgawkami toniczno-klonicznymi, ale mogą również wystąpić napady ogniskowe. W analizowanym przypadku pacjent miał zarówno drganie warg, jak i napad toniczno-kloniczny [20].

17.

Metronidazol (MNZ) jest przepisywany w leczeniu infekcji wywołanych przez bakterie beztlenowe i pierwotniaki. Encefalopatia wywołana metronidazolem (MIE) jest skutkiem ubocznym stosowania tego leku. Yamamoto i wsp. w swojej pracy przedstawili przypadek 68-letniego mężczyzny z zapaleniem kości i szpiku żuchwy, który przez 49 dni otrzymywał metronidazol i pięciokrotną terapię HBO (2,0 ATA, 60 min). Po 47 dniach od rozpoczęcia leczenia metronidazolem i pięciokrotnej terapii HBO u pacjenta pojawiły się objawy MIE (neuropatia obwodowa, zaburzenia mowy, nudności, utrata słuchu i zaburzenia chodu). Po odstawieniu zarówno terapii MNZ, jak i HBOT objawy neurologiczne szybko poprawiły się w ciągu 5 dni. Neuropatia obwodowa utrzymywała się jeszcze przez kilka tygodni. Jest to pierwszy opisany przypadek MIE powiązany z HBOT. Chociaż terapia HBO jest skuteczną w leczeniu zapalenia kości i szpiku, może być jednym z czynników ryzyka MIE [12].

responsible for premature discontinuation of HBOT [22].

20.

Churchill et al. analysed adverse events (AEs) in two randomized, double-blind clinical trials conducted with HBOT. In both studies, participants were randomly assigned to receive HBO2 (1.5 atmospheres absolute, > 99% oxygen) or sham chamber sessions (1.2 absolute atmospheres, room air). In 143 subjects who underwent 4,245 sessions in a hyperbaric chamber, ventricular adverse events were rare (1.1% in the first study, 2.2% in the second study). The most often problem reported was mild barotrauma. Some participants experienced a headache from time to time during the sessions. There were no serious adverse events associated with chamber sessions [23].

21.

Nasole et al. conducted a retrospective observational study in 5962 patients undergoing long-term HBO2 therapy for chronic diseases to analyze the frequency and severity of MEB. Over the course of eight years, he observed 549 MEB (9.2% of all HBOT treatments). Most of them were female patients over 50 years of age. Symptoms of MEB were most often mildly severe with minimal otoscopic changes. 69.03% of cases were classified as Wallace-Teed grade 1. MEB was recorded in 20.3% of patients who had difficulty equalizing the pressure in the ears and / or experienced ear pain in the initial phase of compression during hyperbaric treatment. Inflammatory diseases of the upper respiratory tract, especially rhinitis, predispose to the development of MEB. MEB led to the suspension of therapy in 89 patients, which accounted for 16.2% of all registered MEB or 1.49% of all patients undergoing HBOT procedures [24].

22.

In their research Fan et al. described the case of a 56-year-old patient who suffered severe pulmonary oedema after HBO2 therapy due to carbon monoxide (CO) poisoning. After HBOT (100% oxygen at 0.25 MPa, 60 minutes with a five-minute air break and decompression at 0.01 MPa / minute), the patient suddenly developed dyspnoea. After the therapy, the heart rate was 140 beats per minute, blood pressure - 60/40 mmHg, respiratory rate - 38 per minute and oxygen saturation - 84%. Acute pulmonary oedema and shock were diagnosed. Anti-shock treatment, endotracheal intubation, mechanical ventilation to support respiration, diuretics, dexamethasone, asthma relief and acidosis correction were applied. CT scan showed significant pulmonary oedema. The patient gradually recovered. During the two-year follow-up, the patient did not report any psychological or neurological symptoms. Acute pulmonary oedema during HBOT is rare but can lead to serious side effects in patients with severe acute CO poisoning. This complication should be considered when administering HBOT to patients with severe CO poisoning [25].

23.

In their research Gariel et al. presented the case of a 57-year-old woman who was admitted to the intensive care unit in a state of severe hypotensive shock after an HBOT session. The shock was attributed to gastric barotrauma, which resulted in massive venous gas

18.

W badaniu prospektywnym przeprowadzonym przez Lee i wsp. na 1308 pacjentach (10425 zabiegów), u których zastosowano HBOT, u 5 wystąpiły epizody drgawkowe (pacjenci z zatruciem CO: n=4; pacjenci z tętniczym zatorom gazowym: n=1). Częstość napadów u pacjentów z zatruciem CO (0,148%) i AGE (3,448%).

Żaden z pacjentów nie miał trwałych efektów z powodu napadów padaczkowych. Napady padaczkowe obserwowano u pacjentów z zatruciem CO i AGE [21].

19.

Edinguele i wsp. przeprowadzili pięcioletnie badanie retrospektywne na 2610 pacjentach. 262 pacjentów (10,04%) doświadczyło MEB podczas stosowaniu HBOT. Kobiety były bardziej dotknięte tym powikłaniem niż mężczyźni. Czynniki ryzyka były: wiek powyżej 55 lat, płeć żeńska, choroby uszu, nosa i gardła (rak, infekcje lub alergię, wady rozwojowe lub łagodne nowotwory) oraz choroby innych układów i uzależnienia (palenie tytoniu, obturacyjne zaburzenia oddychania, zaburzenia tarczycy, otyłość). Podczas HBOT doszło do wystąpienia głuchoty nagłej, zmienionej ruchomości błony bębenkowej i opóźnionego gojenia ran. Wystąpienie MEB było odpowiedzialne za przedwczesne odstawienie HBOT [22].

20.

Churchill i wsp. w dwóch randomizowanych, podwójnie zaślepionych badaniach klinicznych przeprowadzonych podczas stosowania HBOT analizowali zdarzenia niepożądane (AE). W obu badaniach uczestnicy zostali losowo przydzieleni do otrzymywania HBO₂ (1,5 atmosfery bezwzględnej, >99% tlenu) lub pozorowanych sesji w komorze (1,2 atmosfery bezwzględnej, powietrze w pomieszczeniu). U 143 uczestników poddanych 4245 sesjom w komorze hiperbarycznej zdarzenia niepożądane związane z komorą występowały rzadko (1,1% w pierwszym badaniu, 2,2% w drugim badaniu). Najczęściej zgłaszana była niewielka barotrauma. Niektórzy uczestnicy czasami odczuwali ból głowy podczas sesji. Z sesjami w komorze nie były związane żadne poważne zdarzenia niepożądane [23].

21.

Nasole i wsp. przeprowadzili retrospektywne badanie obserwacyjne z udziałem 5962 pacjentów poddawanych długotrwałej terapii HBO₂ z powodu chorób przewlekłych w celu przeanalizowania częstości występowania i nasilenia MEB. Na przestrzeni ośmiu lat zaobserwował 549 MEB (9,2% wszystkich zabiegów HBOT). Większość z nich stanowiły pacjentki w wieku powyżej 50 lat. Objawy MEB najczęściej były słabo nasilone z minimalnymi zmianami otoskopowymi. 69,03% przypadków zakwalifikowano jako stopień 1 wg Wallace-Teeda. MEB zarejestrowano u 20,3% pacjentów, którzy mieli trudności z wyrównaniem ciśnienia w uszach i/lub odczuwali ból ucha w początkowej fazie kompresji podczas leczenia hiperbarycznego. Choroby zapalne górnych dróg oddechowych, a w szczególności nieżyt nosa, predysponują do rozwoju MEB. MEB doprowadziło do zawieszenia terapii u 89 pacjentów, co stanowiło 16,2% wszystkich zarejestrowanych MEB lub 1,49% wszystkich pacjentów poddanych zabiegom HBOT [24].

embolism. Gastric barotrauma occurred due to the presence of a filled gastric band / cuff during HBOT, which prevented expansion gas from escaping during decompression. After deflation of the gastric banding, two additional HBOT sessions were performed. Symptoms completely resolved. On the third day, the patient was discharged from the hospital without symptoms. Due to the risk of gastric barotrauma and venous gas embolism, physicians should be aware of the history of the gastric banding before starting HBO therapy [26].

24.

The increase in blood pressure in patients undergoing HBO therapy is a less defined potential side effect. Heyboer et al. tried to better quantify the effect of HBO₂ on blood pressure in patients undergoing HBOT. They conducted a retrospective study on 155 patients who received 3,147 hyperbaric oxygen treatments. They observed an overall increase in systolic blood pressure, diastolic blood pressure and mean blood pressure after treatment. There was no statistically significant difference between patients with and without hypertension. The change in SBP was less with each subsequent treatment in patients receiving more than one treatment. The study shows that an absolute increase in blood pressure can occur as a result of HBO therapy. However, the scale of this effect is not large. A protective effect appeared with more treatments [27].

25.

When side effects occur during HBOT treatment, the therapy should usually be discontinued or delayed. Delays in HBOT due to Eustachian tube dysfunction (EDT) occur in about 10-40% of patients. Cohn et al. Carried out a retrospective analysis of 81 patient cards in terms of risk factors and symptoms of HBOT-related side effects, such as EDT and middle ear barotrauma. A total of 31 (38.3%) did not tolerate HBOT. In 8 of them, the situation improved after the use of oxymetazoline, and in 23 of them a tympanostomy tube was inserted. The susceptibility to complications in patients intolerant to HBOT was higher compared to patients who tolerated the therapy. Patients with a history of otitis media, tinnitus, and previous ear surgery were at risk of HBOT intolerance. Accurate otological evaluation may influence the prediction and identification of patients at risk of HBOT intolerance. The use of a tympanostomy tube should be taken into account in people intolerant to HBOT, who require long-term therapy, already at the first or second session [28].

26.

The study by Lu et al. presents the case of a 72-year-old woman treated with sudden hyperbaric oxygen recompression (HBO₂ RCT) after the occurrence of paralysis of the lower limbs, after exposure to hyperbaric air in a home hyperbaric chamber. After undisturbed exposure to hyperbaric air at a maximum depth of 72 feet (3.2 ATA, 32.3 psig), the patient had delayed abdominal pain and post-meal paraplegia. After HBO₂ RCT, the patient recovered completely. The presented case corresponded to the term - "disturbed decompression". With limited blood volume and the need for simultaneous perfusion of two "intermediate" tissues, according to the authors, a "theft" syndrome arises, causing abdominal symptoms and paralysis [29].

22.

Fan i wsp. w swoim badaniu opisali przypadek 56 letniej pacjentki, która doznała ciężkiego obrzęku płuc po terapii HBO₂ z powodu zatrucia tlenkiem węgla (CO). Po zabiegu HBOT (100% tlenu przy 0,25 MPa, przez 60 minut z pięciominutową przerwą powietrzną i dekompresją przy 0,01 MPa/minutę) u pacjentki nagle wystąpiła duszność. Po terapii tętno wynosiło 140 uderzeń na minutę, ciśnienie krwi - 60/40 mmHg, częstość oddechów - 38 na minutę i saturacja tlenem - 84%. Zdiagnozowano ostry obrzęk płuc i wstrząs. Zastosowano leczenie przeciwwstrząsowe, intubację dotchawiczą, wentylację mechaniczną w celu wspomagania oddychania, diuretyki, deksametazon, łagodzenie astmy i korekcję kwasicy. TK wykazała znaczny obrzęk płuc. Pacjentka wrocała stopniowo do zdrowia. Podczas dwuletniej obserwacji pacjentka nie zgłaszała żadnych objawów psychicznych ani neurologicznych. Ostry obrzęk płuc podczas HBOT występuje rzadko, jednak może prowadzić do poważnych skutków ubocznych u pacjentów z ciężkim ostrym zatruciem CO. To powikłanie należy brać pod uwagę przy stosowaniu HBOT u pacjentów z ciężkim zatruciem CO [25].

23.

Gariel i wsp. w swoim badaniu przedstawili przypadek 57-letniej kobiety, która została przyjęta na oddział intensywnej terapii w stanie ciężkiego wstrząsu hipotensyjnego po sesji HBOT. Wstrząs przypisywano barotraumie żołądka, co skutkowało masywnym żylnym zatorom gazowym. Do barotraumatyzacji żołądka doszło z powodu obecności wypełnionej opaski/mankietu żołądkowego podczas zabiegu HBOT, która zapobiegała ucieczce rozprężającego się gazu podczas dekompresji. Po deflacji opaski żołądkowej przeprowadzone dwie dodatkowe sesje HBOT. Nastąpiło całkowite ustąpienie objawów. Pacjentka w trzecim dniu bez objawów została wypisana ze szpitala. Z uwagi na ryzyko barotraumatyzacji żołądka i żylnej zatorowości gazowej, lekarze powinni być świadomi historii opaski żołądkowej przed rozpoczęciem terapii HBO [26].

24.

Podwyższenie ciśnienia krwi u pacjentów poddawanych terapii HBO jest mniej zdefiniowanym potencjalnym skutkiem ubocznym. Heyboer i wsp. starali się lepiej określić ilościowy wpływ HBO₂ na ciśnienie krwi u pacjentów poddawanych HBOT. Przeprowadzili badania retrospektywne na 155 pacjentach, którzy otrzymali 3147 hiperbarycznych zabiegów tlenowych. Zaobserwowali ogólny wzrost skurczowego ciśnienia krwi, rozkurczowego ciśnienia krwi i średniego ciśnienia tętniczego po leczeniu. Nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy pomiędzy pacjentami z nadciśnieniem i bez nadciśnienia. Zmiana w SBP była mniejsza z każdym kolejnym zabiegiem u pacjentów poddawanych więcej niż jednemu leczeniu. Badanie pokazuje, że w wyniku terapii HBO może wystąpić bezwzględny wzrost ciśnienia krwi. Skala tego efektu nie jest jednak duża. Przy większej liczbie zabiegów pojawił się efekt ochronny [27].

25.

Gdy podczas leczenia HBOT pojawiają się działania niepożądane zazwyczaj terapię należy przerwać lub odroczyć. Opóźnienia w HBOT spowodowane

27.

Hyperbaric assistants work in a hyperbaric environment to provide medical care to patients during treatment in a hyperbaric chamber. While patients breathe 100% oxygen during HABOT, assistants breathe compressed air for almost the entire session while remaining at the same pressure as patients, an experience similar to that of divers breathing with a compressed air cylinder. The retrospective study by Poolpol et al. was aimed at examining the long-term changes in lung function in people working in hyperbaric conditions. 63 people working in multi-seat hyperbaric chambers who worked in public hospitals or medical centres in Thailand were included. 51 people met the criteria for inclusion in the study. To participate in the study, subjects were required to have at least two follow-up pulmonary function tests and a minimum gap of one year from the initial annual periodic test. Lung function of hyperbaric chamber workers was compared with the reference values of the Thai population. The authors showed that working in a hyperbaric environment affects the lung function of assistants in hyperbaric chambers during HBOT. Pulmonary function changes depended on total working time, mean session duration, and mean depth of hyperbaric therapy. In addition to assessing the working capacity of assistants, periodic lung function assessments should be encouraged to monitor for further possible harm [30].

SUMMARY

HBOT is one of the safest therapies in use today. The described side effects are often self-limiting and can be avoided by appropriate screening tests. Side effects of HBOT include various forms of barotrauma, CNS and pulmonary oxygen toxicity, ocular disorders, and claustrophobia. The most common are middle ear barotrauma and claustrophobia. Pulmonary barotrauma is unlikely with proper precautions. Middle ear barotrauma is usually mild and self-limiting. It can be prevented by teaching middle ear cleaning techniques, regulating ear pressure, and assisting with compression. Claustrophobia can be regulated with coaching and anti-anxiety medications. In the case of intolerance to a one-place chamber, the patient may be referred to the nearest multi-place chamber. Oxygen toxicity is rare and most often affects the central nervous system. Symptoms resolve with oxygen withdrawal and leave no lasting consequences. Pulmonary barotrauma is an unlikely complication and can be avoided with appropriate screening tests. Hyperoxic myopia is also one of the most common side effects considered to be reversible. Clinically significant hypoglycaemia is not common [10]. Hyperbaric oxygen therapy is currently approved for the treatment of a variety of conditions and is widely used to treat selected chronic wounds, delayed radiation injuries, and necrotic soft tissue infections [7].

Studies show that the incidence of HBOT-related adverse events is low and usually mild [7].

CONCLUSIONS

- HBOT is a safe and well-tolerated method of treatment of various diseases.
- Adverse events connected with HBOT are rare and are usually mild.



dysfunkcją trąbki Eustachiusza (EDT) występują u około 10-40% pacjentów. Cohn i wsp. przeprowadzili analizę retrospektywną 81 kart pacjentów pod kątem czynników ryzyka i objawów działań niepożądanych związanych z HBOT takich jak EDT i barotrauma ucha środkowego. Łącznie 31 (38,3%) nie tolerowało HBOT. U 8 z nich sytuacja się poprawiła po zastosowaniu oksymetazoliny, a u 23 założono rurkę tympanostomijną. Podatność na powikłania u pacjentów nietolerujących HBOT była wyższa w porównaniu z pacjentami, którzy tolerowali terapię. Pacjenci u których stwierdzono historię zapalenia ucha środkowego, szumy uszne i wcześniejsze operacje ucha byli narażeni na nietolerancję HBOT. Dokładna ocena otologiczna może wpływać na przewidywanie i identyfikację pacjentów zagrożonych nietolerancją HBOT. Zastosowanie rurki tympanostomijnej powinno być brane pod uwagę u osób nietolerujących HBOT już przy pierwszej lub drugiej sesji, którzy wymagają długotrwałej terapii [28].

26.

W badaniu Lu i wsp. przedstawiono przypadek 72-letniej kobiety leczonej nagłą hiperbaryczną rekompresją tlenu (HBO2 RCT) po wystąpieniu paralizu kończyn dolnych, po ekspozycji na powietrze hiperbaryczne w domowej komorze hiperbarycznej. Po niezakłóconej ekspozycji na powietrze hiperbaryczne na maksymalnej głębokości 72 stopy (3,2 ATA, 32,3 psig), pacjentka miała opóźniony ból brzucha i paraplegię po zjedzeniu posiłku. Po HBO2 RCT pacjentka wyzdrowiała całkowicie. Prezentowany przypadek odpowiadał określeniu - „zaburzona dekompresja”. Przy ograniczonej objętości krwi i konieczności jednoczesnej perfuzji dwóch „pośrednich” tkanek, według autorów powstaje syndrom „kradzieży” powodujący objawy brzuszne i paraliż [29].

27.

Asystenci hiperbaryczni pracują w środowisku hiperbarycznym, aby zapewnić opiekę medyczną pacjentom podczas leczenia w komorze hiperbarycznej. Podczas gdy pacjenci oddychają 100% tlenem w trakcie HBOT, asystenci oddychają sprężonym powietrzem przez prawie całą sesję pozostając pod takim samym ciśnieniem jak pacjenci, co jest doświadczeniem podobnym do tego, jakie mają nurkowie oddychający z butli ze sprężonym powietrzem. Badanie retrospektywne Poolpola i wsp. miało na celu zbadanie długoterminowych zmian w czynności płuc u osób pracujących w warunkach hiperbarii. Uwzględniono 63 osoby pracujące w wielomiejscowych komorach hiperbarycznych, które pracowały w publicznych szpitalach lub ośrodkach medycznych w Tajlandii. 51 osób spełniało kryteria włączenia do badań. Aby wziąć udział w badaniu, osoby musiały mieć co najmniej dwa kontrolne testy czynnościowe płuc i minimalną roczną przerwę od początkowego corocznego badania okresowego. Funkcję płuc pracowników komór hiperbarycznych porównano z wartościami referencyjnymi populacji tajskiej. Autorzy wykazali, że praca w środowisku hiperbarycznym wpływa na czynność płuc u asystentów w komorach hiperbarycznych podczas HBOT. Zmiany czynnościowe płuc były uzależnione od całkowitego czasu pracy, średniego czasu trwania sesji i średniej głębokości hiperbarii. Oprócz oceny zdolności do pracy asystentów należy zachęcać do okresowej oceny czynności płuc w celu monitorowania dalszych możliwych szkód [30].

- The most common side effects associated with HBOT are middle ear barotrauma and claustrophobia.

PODSUMOWANIE

HBOT jest jedną z najbezpieczniejszych stosowanych obecnie terapii. Opisane efekty niepożądane są często samoograniczające się i można ich uniknąć dzięki odpowiednim badaniom przesiewowym. Do skutków ubocznych HBOT należą różne formy barotraumaty, toksyczność tlenowa ośrodkowego układu nerwowego i płuc, zaburzenia oczne oraz klaustrofobia. Najbardziej powszechne są barotrauma ucha środkowego i klaustrofobia. Mało prawdopodobny przy zachowaniu odpowiednich środków ostrożności jest uraz ciśnieniowy płuc. Barotrauma ucha środkowego jest zwykle łagodna i samoograniczająca się. Można jej zapobiegać poprzez nauczanie technik oczyszczania ucha środkowego i regulacji ciśnienia w uchu oraz pomoc podczas kompresji. Klaustrofobię można regulować za pomocą coachingu i leków przeciwłękowych. Przy nietolerancji komory jednomiejscowej można pacjenta skierować do najbliższej komory wielomiejscowej. Toksyczność tlenowa występuje rzadko i najczęściej dotyczy ośrodkowego układu nerwowego. Objawy ustępują wraz z wycofaniem tlenu i nie pozostawiają żadnych trwałych konsekwencji. Barotrauma płuc jest mało prawdopodobnym powikłaniem i można jej uniknąć dzięki odpowiednim badaniom przesiewowym. Hiperoksychna krótkowzroczność jest również jednym z najczęstszych skutków ubocznych uważanych za odwracalne. Hipoglikemia istotna klinicznie nie jest powszechna [10]. Tlenoterapia hiperbaryczna jest obecnie zatwierdzona do leczenia różnych schorzeń i jest powszechnie stosowana w leczeniu wybranych ran przewlekłych, opóźnionych urazów popromiennych i martwiczych infekcji tkanek miękkich [7].

Badania wykazują, że występowanie zdarzeń niepożądanych związanych z HBOT jest niewielkie i zazwyczaj łagodne [7].

WNIOSKI

- HBOT jest bezpieczną i dobrze tolerowaną metodą leczenia różnych chorób.
- Zdarzenia niepożądane związane z HBOT występują rzadko i są zazwyczaj łagodne.
- Najczęstsze skutki uboczne związane z HBOT to barotrauma ucha środkowego i klaustrofobia.

REFERENCES

1. Bessereau J, Aboab J, Hullin T, Huon-Bessereau A, Bourgeois JL, Brun PM, Chevret S, Annane D: Safety of hyperbaric oxygen therapy in mechanically ventilated patients. *International Maritime Health*. 68(1):46-51, 2017.
2. Corcoran T, Ting S, Mas E, Phillips M, O'Loughlin E, Barden A, Mori TA: Hyperbaric oxygen therapy is not associated with oxidative stress assessed using plasma F2-isoprostanes and isofurans. *Prostaglandins Leukotrienes & Essential Fatty Acids*. 127:16-19, 2017.
3. Caplan M, Duburcq T, Moreau AS, Poissy J, Nseir S, Parmentier-Decrucq E: Hyperbaric hyperoxemia as a risk factor for ventilator-acquired pneumonia?. *PLoS ONE [Electronic Resource]*. 16(6):e0253198, 2021.
4. Chen JM, Lu ZN, Wu RW, Bi KW, Liu CT: Effect of self-acupressure on middle ear barotrauma associated with hyperbaric oxygen therapy: A nonrandomized clinical trial. *Medicine*. 100(17):e25674, 2021.
5. Dejmeck J, Kohoutova M, Kripnerova M, Cedikova M, Tuma Z, Babuska V, Bolek L, Kuncova J: Repeated exposure to hyperbaric hyperoxia affects mitochondrial functions of the lung fibroblasts. *Physiological Research*. 67(Suppl 4):S633-S643, 2018 12 31.
6. Kobielska E, Chrapusta A: Sześćoletnia analiza powikłań terapii tlenem hiperbarycznym u 1981 pacjentów. *Chirurgia Plastyczna i oparzenia*. 2020; 8(1): 1-5.
7. Jokinen-Gordon H, Barry RC, Watson B, Covington DS: A Retrospective Analysis of Adverse Events in Hyperbaric Oxygen Therapy (2012-2015): Lessons Learned From 1.5 Million Treatments. *Advances in Skin & Wound Care*. 30(3):125-129, 2017.
8. Lin CH, Su WH, Chen YC, Feng PH, Shen WC, Ong JR, Wu MY, Wong CS: Treatment with normobaric or hyperbaric oxygen and its effect on neuropsychometric dysfunction after carbon monoxide poisoning: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine*. 97(39):e12456, 2018.
9. Cho K, Minami T, Okuno Y, Kakuda Y, Tsutsumi T, Kogame T, Ohtsuru S, Sato N, Koike K: Convulsive seizure and pulmonary edema during hyperbaric oxygen therapy: A case report. *Journal of Medical Investigation*. 65(3.4):286-288, 2018.



10. Heyboer M., Sharma D., Santiago W., McCulloch N.: Hyperbaric Oxygen Therapy: Side Effects Defined and Quantified. *ADVANCES IN WOUND CARE, VOLUME 6, NUMBER 6*, 2017.
11. Meng FC, Shen CH, Chu CM, Shih CP, Lin HC, Peng CK, Chang SC, Huang KL: Dried salted plum consumption ameliorates hyperbaric oxygen therapy-induced otalgia severity at the first chamber session: a prospective randomized controlled study. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(6):551-557, 2017.
12. Yamamoto Y, Asai N, Furuhashi A, Ono T, Yamagishi Y, Mikamo H, Kazaoka Y: Metronidazole-induced encephalopathy caused by hyperbaric oxygen therapy in a patient with mandibular osteomyelitis. *Journal of Infection & Chemotherapy*. 25(12):1057-1059, 2019.
13. Evanger K, Vaagbo G, Haugen OH: Short-term effects on ocular variables immediately after hyperbaric oxygen exposures. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 45(4):395-402, 2018.
14. Hagan JC, Maturro JV, Kirby JP: Rapidly Developing Large Bilateral Cataracts in a 58-Year-Old Woman After Only 46 Hyperbaric Oxygen Treatments. *Missouri Medicine*. 116(5):396-399, 2019.
15. Moon RE: UHMS HBO2 committee chair questions FDA on incorrect info. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(6):611-612, 2017.
16. Ng AWA, Muller R, Orton J: Incidence of middle ear barotrauma in staged versus linear chamber compression during hyperbaric oxygen therapy: a double blinded, randomized controlled trial. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(2):101-107, 2017.
17. Tran V, Smart D: Proliferative retinopathy during hyperbaric oxygen treatment. *Diving & Hyperbaric Medicine*. 47(3):203, 2017.
18. Uluyol S, Demir L, Kilicaslan S: The Effects of Short- and Long-Term Exposure to Hyperbaric Oxygen on Nasal Mucociliary Clearance. *Journal of Craniofacial Surgery*. 28(2):331-333, 2017.
19. Wang KY, Lin YS, Sy CL, Huang WC, Chen LW: Hyperbaric oxygen therapy increases the risk of tuberculosis disease. *International Journal of Tuberculosis & Lung Disease*. 22(6):637-640, 2018 06 01.
20. Warchol JM, Cooper JS, Diesing TS: Hyperbaric oxygen-associated seizure leading to stroke. *Diving & Hyperbaric Medicine*. 47(4):260-262, 2017.
21. Lee CH, Choi JG, Lee JS, Lee Y, Kim H, Kim YS, Cha YS: Seizure during hyperbaric oxygen therapy: experience at a single academic hospital in Korea. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 48(1):43-51, 2021.
22. Edinguele WFOP, Barberon B, Poussard J, Thomas E, Reynier JC, Coulange M: Middle-ear barotrauma after hyperbaric oxygen therapy: a five-year retrospective analysis on 2,610 patients. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 47(2):217-228, 2020.
23. Churchill S, Deru K, Weaver LK, Wilson SH, Hebert D, Miller RS, Lindblad AS: Adverse events and blinding in two randomized trials of hyperbaric oxygen for persistent post-concussive symptoms. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 46(3):331-340, 2019 BIMA Special Edition No. Feb.
24. Nasole E, Zanon V, Marcolin P, Bosco G: Middle ear barotrauma during hyperbaric oxygen therapy; a review of occurrences in 5,962 patients. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 46(2):101-106, 2019.
25. Fan D, Lv Y, Hu H, Pan S: Severe pulmonary edema following hyperbaric oxygen therapy for acute carbon monoxide poisoning: a case report and clinical experience. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(3):287-291, 2017.
26. Gariel C, Delwarde B, Beroud S, Soldner R, Floccard B, Rimmele T: Is decompression illness possible during hyperbaric therapy? a case report. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(3):283-285, 2017.
27. Heyboer Rd M, Wojcik SM, Smith G, Santiago W: Effect of hyperbaric oxygen therapy on blood pressure in patients undergoing treatment. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 44(2):93-99, 2017.
28. Cohn JE, Pfeiffer M, Patel N, Sataloff RT, McKinnon BJ: Identifying eustachian tube dysfunction prior to hyperbaric oxygen therapy: Who is risk for intolerance? *American Journal of Otolaryngology-Head and Neck Medicine and Surgery*. 39(1):14-19, 2018.
29. Lu LQ, Strauss MB, Miller SS: The Gradient Perfusion Model Part 3: An extraordinary case of decompression sickness. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 45(3):307-311, 2018.
30. Poolpol P, Sithisarakul P, Rattananupong T: Lung function change in hyperbaric chamber inside attendants. *International Maritime Health*. 70(2):125-131, 2019.

dr n. med. Wojciech Giermaziak

Główna Biblioteka Lekarska

ul. Chocimska 22

00-791 Warszawa

PREVALENCE OF ANTI-HAV IgG ANTIBODIES IN THE POPULATION OF THE ŁÓDŹ MACROREGION BY AGE GROUP

WYSTĘPOWANIA PRZECIWCIAŁ ANTI-HAV IgG W POPULACJI MAKROREGIONU ŁÓDZKIEGO W ZALEŻNOŚCI OD WIEKU

Gabriela Henrykowska¹⁾, Kornelia Kotecka²⁾, Aleksandra Jabłowska²⁾, Andrzej Buczyński¹⁾, Joanna Woźny²⁾

¹⁾ Epidemiology and Public Health Department, Medical University of Łódź, Poland

¹⁾ Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

²⁾ Department of Infectious and the Digestive Tract Diseases, Department of Infectious and Liver Diseases, Medical University of Lodz. Dr. Wł. Bieganski Provincial Specialist Hospital, Poland

²⁾ Oddział Chorób Zakaźnych i Przewodu Pokarmowego, Klinika Chorób Zakaźnych i Chorób Wątroby, Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Wojewódzki Specjalistyczny Szpital im. Dr Wł. Biegańskiego

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Over the last several decades, a gradual decrease in the incidence of hepatitis A and an increase in the population of non-immune people, especially in the group of young people have been observed in Poland. The aim of this study was to assess of the presence of specific anti-hepatitis A virus IgG class antibodies (anti-HAV IgG) in relation to age among non-vaccinated hepatitis A patients. There were statistically significantly more patients up to 45 years of age with anti-HAV IgG negative results than those over 45 years of age, and the Fi-square correlation coefficient (Φ^2) was 0.263 between the analyzed variables. The data analysis shows that the number of people with specific IgG antibodies against hepatitis A increases with age. The risk of hepatitis A infection in people under 45 is high due to widespread seronegativity in this age group.

Keywords: hepatitis A infection, anti-HAV IgG, seroprevalence.

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat zaobserwowano w Polsce stopniowy spadek zachorowań na wirusowe zapalenie wątroby typu A i zwiększenie populacji osób nieuodpornionych, zwłaszcza w grupie osób młodych. Celem pracy była ocena obecności swoistych przeciwciał anti-HAV IgG w zależności od wieku, wśród osób nie szczepionych przeciw wirusowemu zapaleniu wątroby typu A. Zaobserwowano statystycznie znacznie więcej pacjentów do 45 roku życia z wynikiem anti-HAV IgG ujemnym niż badanych powyżej 45 roku życia, a współczynnik korelacji Fi-kwadrat (Φ^2) wyniósł 0,263 pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi. Z analizy danych wynika, że z wiekiem rośnie liczba osób posiadających swoiste przeciwciała przeciw wirusowi zapalenia wątroby typu A w klasie IgG. Ryzyko zakażenia wirusem zapalenia wątroby typu A u osób poniżej 45 roku życia jest wysokie ze względu na powszechną seronegatywność w tej grupie wiekowej.

Słowa kluczowe: wirusowe zapalenie wątroby typu A, anti-HAV IgG, seroprewalencja.

За последние несколько десятилетий в Польше наблюдается постепенное снижение заболеваемости гепатитом А и увеличение популяции не иммунизированных лиц, особенно среди молодежи. Целью исследования являлась оценка наличия специфических антител IgG к ВГА в зависимости от возраста у лиц, не вакцинированных против гепатита А. Пациентов до 45 лет с отрицательными результатами IgG к ВГА было статистически значимо больше, чем старше 45 лет, а коэффициент корреляции Фи-квадрат (Φ^2) между анализируемыми переменными составил 0,263. Анализ данных показывает, что количество людей со специфическими антителами IgG против гепатита А увеличивается с возрастом. Риск заражения гепатитом А у людей моложе 45 лет высок из-за широко распространенной серонегативности в этой возрастной группе.

Ключевые слова: гепатит А, IgG к ВГА, серопревалентность.

In den letzten Jahrzehnten wurde in Polen ein allmählicher Rückgang der Hepatitis-A-Inzidenz und ein Anstieg der Zahl nicht immuner Personen, insbesondere bei jungen Menschen, beobachtet. Ziel dieser Studie war es, das Vorhandensein von altersspezifischen Anti-HAV-IgG-Antikörpern bei nicht gegen Hepatitis A geimpften Personen zu untersuchen. Es wurde eine statistisch signifikant höhere Anzahl von Patienten unter 45 Jahren mit negativen Ergebnissen bei Anti-HAV-IgG beobachtet als von Personen über 45 Jahren, wobei der Korrelationskoeffizient Fi-Quadrat (Φ^2) unter den betrachteten Variablen 0,263 betrug. Die Analyse der Daten zeigt, dass die Zahl der Personen mit spezifischen Antikörpern gegen das Hepatitis-A-Virus der Klasse IgG mit dem Alter zunimmt. Das Risiko einer Infektion mit dem Hepatitis-A-Virus bei Personen unter 45 Jahren ist hoch, da in dieser Altersgruppe eine hohe Seronegativität besteht.

Schlüsselwörter: Hepatitis A, Anti-HAV-IgG, Seroprävalenz.

La oxigenoterapia hiperbárica, como cualquier método de terapia, conlleva un riesgo de complicaciones. El artículo es una revisión de los resultados de los estudios relativos a eventos adversos de la oxigenoterapia hiperbárica. Entre los más frecuentes se encuentran: el barotrauma del oído medio, los senos paranasales o los pulmones, la toxicidad por oxígeno puede ser pulmonar, ocular, provocando en casos extremos cataratas, claustrofobia, edema pulmonar o hipoglucemia. Según han demostrado los estudios, estos eventos se producen en caso de una alta concentración o una alta presión de oxígeno. En función de la gravedad de las complicaciones, estas son de corta duración y no provocan una interrupción de la terapia, o bien de larga duración, que excluyen la continuación del tratamiento. Sin embargo, los eventos adversos relacionados con la oxigenoterapia se presentan raramente y por lo general son leves, lo que confirma que HBOT es un método de tratamiento eficaz y seguro tanto de la enfermedad descompresiva, intoxicaciones por monóxido de carbono como de tratamiento de heridas crónicas, lesiones por radiación retardadas o infecciones necrosantes de tejidos blandos.

Palabras clave: hepatitis de tipo A, anti-HAV IgG, seroprevalencia.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 67 – 76

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0017

Pages: 12, figures: 1, tables: 5

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 23.06.2021 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 18.07.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Według szacunkowych danych przypadki zakażenia wirusem zapalenia wątroby typu A (HAV – hepatitis A virus) dotyczą około 1,5 miliona osób rocznie. Dane te mogą być prawdopodobnie zaniżone ze względu na zbyt niski poziom zgłaszania bezobjawowych infekcji HAV [1].

Hepatitis A virus należy do rodziny Picornaviridae, rodzaju Hepatovirus. Jest małym (średnicy 27 nm) bezotoczkowym wirusem zbudowanym z pojedynczej nici RNA, który wywołuje wirusowe zapalenie wątroby typu A – na ogół ostrą, samoograniczającą się chorobę zakaźną. Jedynym rezerwuarem HAV jest człowiek. Wirus przenoszony jest głównie drogą fekalno-oralną, a także poprzez kontakt ze skażoną żywnością i wodą pitną. Do zakażenia może też dojść drogą kontaktów seksualnych. Potencjalnie istnieje także ryzyko zakażenia poprzez bezpośredni kontakt z osobą zakażoną i produktami krwiopochodnymi [2].

Przebieg zakażenia wirusem A zapalenia wątroby jest zróżnicowany i w dużej mierze zależy od wieku w momencie zakażenia oraz chorób współistniejących. Przebieg bezobjawowy obserwuje się zwłaszcza u dzieci poniżej 6 roku życia, zaledwie ok 10% zakażeń HAV w tej grupie pacjentów prezentuje objawy [3]. U dorosłych objawy kliniczne występują od 76%–97% [4]. Rokowanie i przebieg u chorych dotychczas zdrowych jest dobre, Postać galopująca (hepatitis fulminans) jest obserwowana u 0,1-0,2% pacjentów, zwłaszcza powyżej 50 roku życia z współistniejącymi przewlekłymi chorobami wątroby [5]. Śmiertelność w tej grupie wynosi 50%. Wirusowe zapalenie wątroby typu A nie przechodzi w postać przewlekłą. Śmiertelność wynosi 0,14–0,2% [6], a odporność pochorobowa utrzymuje się do końca życia [7].

Okres wylegania wynosi 15-50 dni (średnio 30 dni). Na 14 do 21 dni przed wystąpieniem żółtaczki, duże ilości wirusa są wydalane z organizmu. Obserwuje się zwiększenie aktywności enzymów wątrobowych oraz przeciwciał anti-HAV w klasie IgM [8] Marker ostrego zapalenia wątroby jest obecny 5-10 dni przed wystąpieniem objawów. Obecność przeciwciał w tej klasie wynosi średni 3 miesiące. Następnie obserwuje się serokonwersję i stopniowe pojawianie się przeciwciał w klasie IgG, które utrzymują się do końca życia chroniąc przed ponownym zachorowaniem [7,9].

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat zaobserwowano w Polsce stopniowy spadek zachorowań, przechodząc od wysokiego ryzyka zakażenia do jednej z najniższych zapadalności wśród krajów europejskich [10]. Obserwowana tendencja spadkowa prawdopodobnie spowodowana została kilkoma współistniejącymi czynnikami takimi, jak poprawa warunków sanitarno-higienicznych, poprawa warunków społeczno-ekonomicznych, a także zwiększeniem bezpieczeństwa żywności i dostępnością szczepionek [11]. Zmiany te doprowadziły do obniżenia częstości występowania zachorowania w okresie dziecięcym, na rzecz wrażliwej na zakażenie populacji osób dorosłych.

Z danych epidemiologicznych wynika, że aż 80% osób do 35 roku życia jest nieuodpornionych, a w grupie poniżej 40 roku życia tylko 6,5% ma specyficzne przeciwciała przeciw wirusowi zapalenia wątroby typu A [12].

INTRODUCTION

According to estimates, cases of hepatitis A virus (HAV) infection affect approximately 1.5 million people per year. These figures may probably be underestimated due to under-reporting of asymptomatic HAV infections [1].

Hepatitis A virus belongs to the family Picornaviridae, genus Hepatovirus. It is a small (27 nm in diameter) non-enveloped virus composed of a single strand of RNA that causes hepatitis A, a generally acute, self-limiting infectious disease. The only reservoir of HAV is humans. The virus is mainly transmitted by the faecal-oral route, as well as through contact with contaminated food and drinking water. Infection can also occur through sexual contact. There is also a potential risk of infection through direct contact with an infected person and blood products [2].

The course of hepatitis A virus infection varies and is largely dependent on age at infection and comorbidities. An asymptomatic course is particularly observed in children under 6 years of age; only about 10% of HAV infections in this patient group present symptoms [3]. In adults, clinical symptoms occur in 76%–97% [4]. The prognosis and course in previously healthy patients is good. The rapidly progressive form (hepatitis fulminans) is observed in 0.1-0.2% of patients, especially over 50 years of age with coexisting chronic liver disease [5]. The mortality rate in this group is 50%. Hepatitis A does not progress to the chronic form. The mortality rate is 0.14-0.2% [6], and post-disease immunity persists for life [7].

The incubation period is 15-50 days (on average 30 days). Between 14 and 21 days before the onset of jaundice, large amounts of virus are excreted from the body. Increased liver enzymes and anti-HAV antibodies in the IgM class are observed [8] Markers of acute hepatitis are present 5-10 days before the onset of symptoms. The presence of antibodies in this class averages 3 months. Thereafter, seroconversion and gradual emergence of antibodies in the IgG class are observed, which persist for life protecting against re-infection [7,9].

A gradual decline in incidence has been observed in Poland over the last few decades, moving from a high risk of infection to one of the lowest incidence rates among European countries [10]. The observed downward trend is likely to have been caused by several concurrent factors such as improved sanitation and hygiene, improved socio-economic conditions, as well as increased food safety and availability of vaccines [11]. These changes have led to a decrease in the incidence of the disease in childhood, in favour of a vulnerable adult population.

Epidemiological data show that as many as 80% of people under 35 years of age are un-immunized, and in the under-40 group only 6.5% have specific antibodies against hepatitis A [12].

AIM

The aim of this study was to assess the presence of specific anti-hepatitis A virus IgG class antibodies (anti-HAV IgG) in relation to age among non-vaccinated hepatitis A patients.

CEL

Celem pracy była ocena obecności swoistych przeciwciał w klasie IgG przeciw wirusowi zapalenia wątroby typu A (anty-HAV IgG) w zależności od wieku wśród osób nie szczepionych przeciw wirusowemu zapaleniu wątroby typu A.

MATERIAŁ I METODY

Analizie poddano dane 3121 pacjentów, hospitalizowanych w okresie od 1 stycznia 2012 do 31 grudnia 2019 w oddziałach chorób zakaźnych Wojewódzkiego Specjalistycznego Szpitala im. dr Wł. Biegańskiego w Łodzi, którzy mieli wykonane oznaczenie swoistych przeciwciał w klasie IgG przeciw wirusowi zapalenia wątroby typu A (anty-HAV IgG) i nie byli szczepieni przeciw temu typowi wirusa.

Z powodu małej liczebności grupę 90+ włączono do grupy 80-89. Do analiz statystycznych nowo powstałą grupę oznaczono 80+. Liczebność grup w poszczególnych przedziałach wiekowych przedstawiono na rycinie 1.

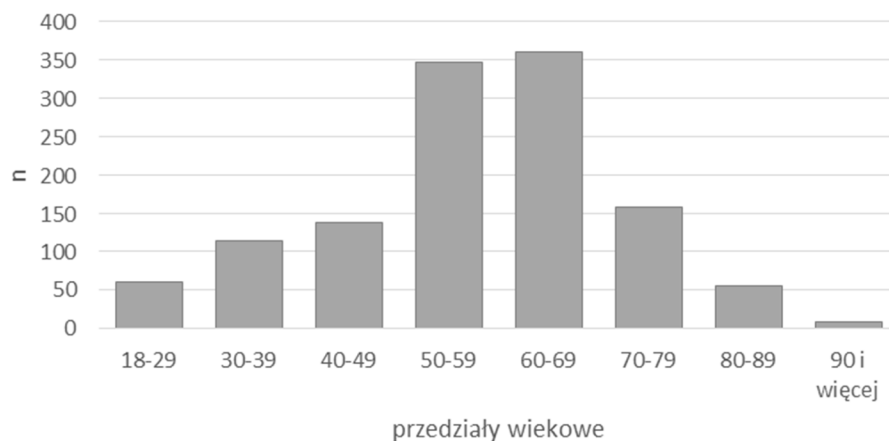


Fig. 1 Age distribution of study population.

Ryc. 1 Rozkład wieku badanej populacji.

Zebrane dane zostały opracowane przy użyciu programu Statistica v 13 i opisowej analizie statystycznej oraz z wykorzystaniem testu normalności: Shapiro-Wilka. Na podstawie, którego stwierdzono brak rozkładu normalnego w każdej z grup badanych ($p < 0,001$). W związku z tym do dalszej analizy zastosowano test U Manna Whitneya. W celu określenia zależności między występowaniem przeciwciał anti-HAV a grupą wiekową zastosowano współczynnik korelacji Fi-kwadrat (Φ^2). Wartość przyjętego poziomu istotności wyniosła $p < 0,05$.

WYNIKI

W analizowanej grupie u 39,79% badanej populacji ($n=1242$) uzyskało wynik dodatni badania swoistych przeciwciał anti-HAV w klasie IgG. Średni wiek badanej populacji wynosił 46,25 lat a mediana 45 lat. Wśród osób z pozytywnym wynikiem anti-HAV w klasie IgG mediana jak i średnia wieku były istotnie wyższe niż wśród osób z wynikiem ujemnym. Wartości 95% przedziału ufności (95% CI) przedstawia tabela 1.

MATERIAL AND METHODS

We analysed the data of 3,121 patients, hospitalised in the period from 1 January 2012 to 31 December 2019 in the infectious diseases wards of the Dr Wł. Biegański Provincial Specialist Hospital in Łódź, who had specific IgG class antibodies against hepatitis A virus (anti-HAV IgG) determined and were not vaccinated against this type of virus. Due to the small number of people, the 90+ group was included in the 80-89 group. For statistical analysis, the newly created group was marked as 80+. The size of the groups in each age range is shown in Figure 1.

The collected data was processed using the Statistica v 13 program and descriptive statistical analysis as well as the Shapiro-Wilk normality test. On the basis of this test, no normal distribution was found in each of the studied groups ($p < 0.001$). Therefore, the Mann-Whitney U test was used for further analysis. In order to determine the relationship between the occurrence of anti-HAV antibodies and the age group, the Fi-square correlation coefficient (Φ^2) was used. The value of the adopted significance level was $p < 0.05$.

RESULTS

In the analysed group, 39.79% of the study population ($n=1242$) were positive for IgG class specific anti-HAV antibodies. The mean age of the study population was 46.25 years and the median 45 years. Among those with a positive anti-HAV IgG result, the median as well as the mean age were significantly higher than among those with a negative result. The 95% confidence interval (95% CI) values are shown in Table 1.

Study population broken down by the anti-HAV IgG result.

Opis badanej populacji z podziałem ze względu na uzyskany wynik anty-HAV w klasie IgG.

	n	Mean	SD	Median	min.	max.	95% CI
anti HAV-positive	1242	58,17	14,51	60	18	93	57,36 - 58,98
anti HAV-negative	1879	38,37	12,70	36	18	85	37,79 - 38,94
total population	3121	46,25	16,57	45	18	93	45,67 46,83

Zaobserwowano statystycznie istotną ($p < 0,001$) różnicę średniej wieku między grupą osób z wynikiem pozytywnym i negatywnym badania anty-HAV IgG. Dla osób posiadających przeciwciała w klasie IgG średnia wieku była wyższa niż dla osób z negatywnym wynikiem badania anty-HAV (odpowiednio $58,17 \pm 14,50$ i $38,37 \pm 12,69$). Podobnie, istotną zmienność statystyczną zaobserwowano dla mediany wieku, która wśród osób z wynikiem anty-HAV dodatnim była wyższa niż u osób z ujemnym wynikiem badania anty-HAV w klasie IgG (ryc. 2).

A statistically significant ($p < 0,001$) difference in mean age was observed between the anti-HAV IgG positive and negative groups. For those with IgG antibodies, the mean age was higher than for those with a negative anti-HAV test (58.17 ± 14.50 and 38.37 ± 12.69 , respectively). Similarly, significant statistical significance was observed for median age, which was higher among anti-HAV-positive than anti-HAV IgG-negative individuals (Fig. 2).

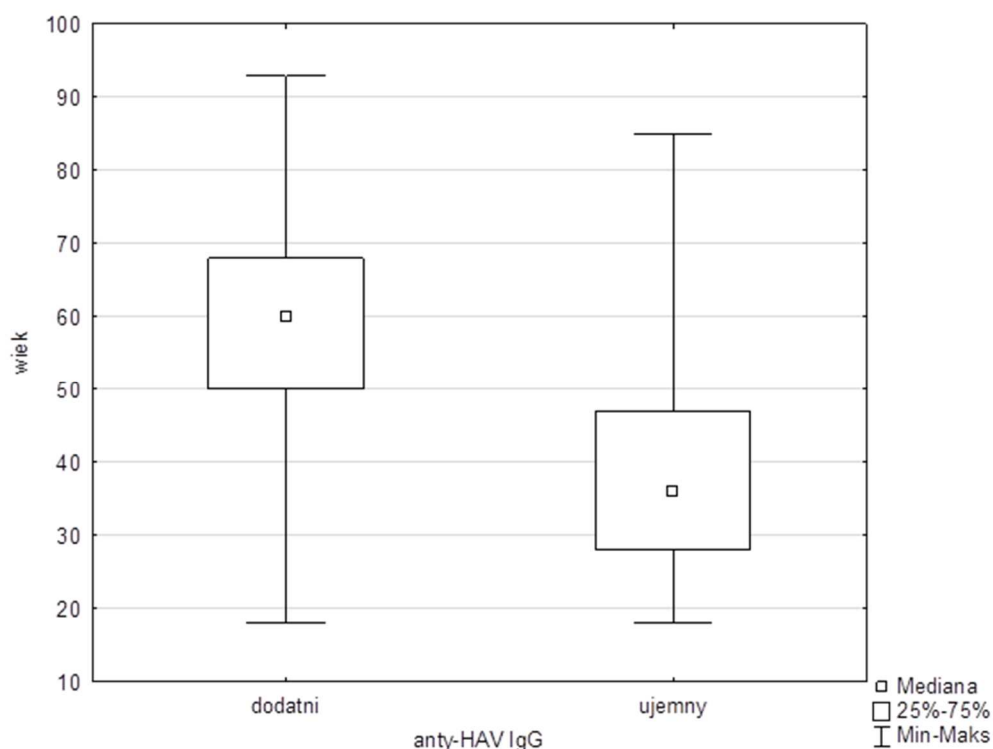


Fig. 2 Age distribution of study population for different anti-HAV IgG test.

Ryc. 2 Rozkład wieku badanych w zależności od wyniku badania anty-HAV IgG.

W każdym z analizowanych lat (2012-2019), zaobserwowano istotną statystycznie różnicę ($p < 0,0001$) pomiędzy wiekiem osób z pozytywnym i negatywnym wynikiem badania anty-HAV w klasie IgG. Uzyskane wyniki przedstawiono na rycinie 3.

In each of the years covered by our analysis (2012-2019), a statistically significant difference ($p < 0,0001$) was observed between the age of IgG-positive and IgG-negative anti-HAV test subjects. The results obtained are shown in Fig. 3.

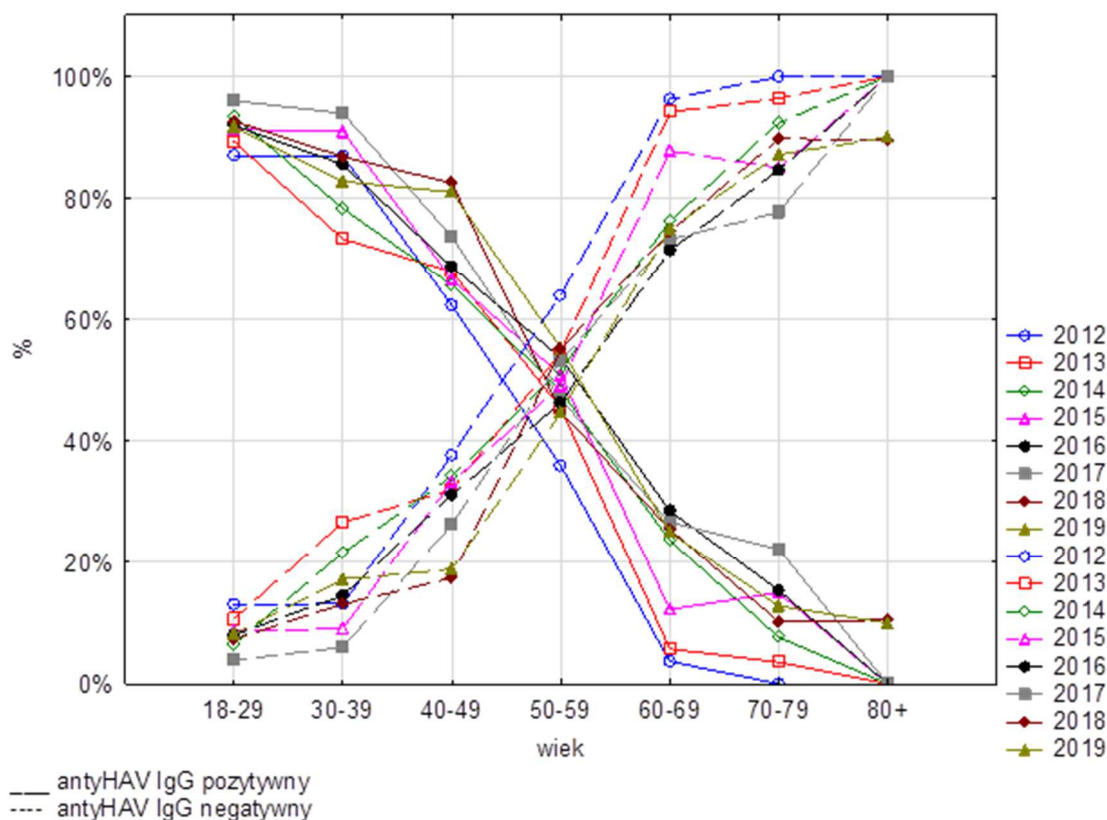


Fig. 3 Prevalence of anti-HAV class IgG antibodies by age group in subsequent years of the study.

Ryc. 3 Obecność przeciwciał anti-HAV w klasie IgG w zależności od wieku w poszczególnych latach badania.

Zaobserwowano również istotną statystycznie korelację pomiędzy poszczególnymi grupami wiekowymi a wynikiem dla całej badanej populacji. Dodatnia wartość współczynnika R. Spearmana w kolejnych latach badania (2012-2019) wahała się od 0,66 do 0,58, co świadczy o wysokiej korelacji. Wskazuje na wzrost liczby przypadków z pozytywnym wynikiem HAV wraz z wiekiem w każdym roku badania.

W dalszej analizie, przyjmując za kryterium podziału badanej populacji wartość mediany wieku dla całej grupy (45 lat) zaobserwowano istotną statystycznie ($p < 0,0001$) zależność między wiekiem badanych a uzyskanym wynikiem anti-HAV IgG ($\chi^2=819,44$). Wartość współczynnika korelacji Fi-kwadrat (Φ^2) wynosiła 0,263 pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi, co wskazuje, że wraz z wiekiem rośnie liczba osób posiadających swoiste przeciwciała przeciw wirusowi zapalenia wątroby typu A w klasie IgG (rycina 4).

Badając interakcję między wiekiem badanych a obecnością swoistych przeciwciał anti-HAV w klasie IgG, zaobserwowano statystycznie znamienne więcej pacjentów do 45 roku życia z wynikiem anti-HAV IgG ujemnym niż badanych powyżej 45 roku życia (rycina 5).

W grupie powyżej 45 roku życia 65,09% ($n=1007$) pacjentów miało pozytywny wynik badania anti-HAV IgG. Natomiast wynik negatywny uzyskało jedynie 540 osób, co stanowi 17,30% ogółu badanych. W grupie do 45 roku życia jedynie 14,93% badanych ($n=235$) uzyskało pozytywny wynik tego badania, a 85,07% tej grupy miało wynik negatywny.

A statistically significant correlation was also observed between the different age groups and the result for the entire study population. The positive value of the Spearman's R coefficient in successive years of the study (2012-2019) ranged from 0.66 to 0.58 which proves the high correlation. It indicates that the number of HAV positive cases increases with age in each year of the study.

In further analysis, taking the median age value for the whole group (45 years) as a criterion for dividing the study population, a statistically significant ($p < 0.0001$) relationship was observed between the age of the subjects and the anti-HAV IgG result obtained ($\chi^2=819.44$). The value of the Fi-quadrat correlation coefficient (Φ^2) was 0.263 between the variables considered, indicating that the number of people with specific IgG class hepatitis A antibodies increases with age (Fig. 4).

When examining the interaction between the age of the subjects and the presence of specific anti-HAV IgG antibodies, statistically significantly more patients under 45 years of age were observed to be anti-HAV IgG negative than subjects aged 45+ (Fig. 5). In the group over 45 years of age, 65.09% ($n=1007$) of patients were positive for anti-HAV IgG. In contrast, only 540 patients were negative, representing 17.30% of the total study population. In the group under 45 years of age, only 14.93% of the subjects ($n=235$) were positive for this test, and 85.07% of this group were negative.

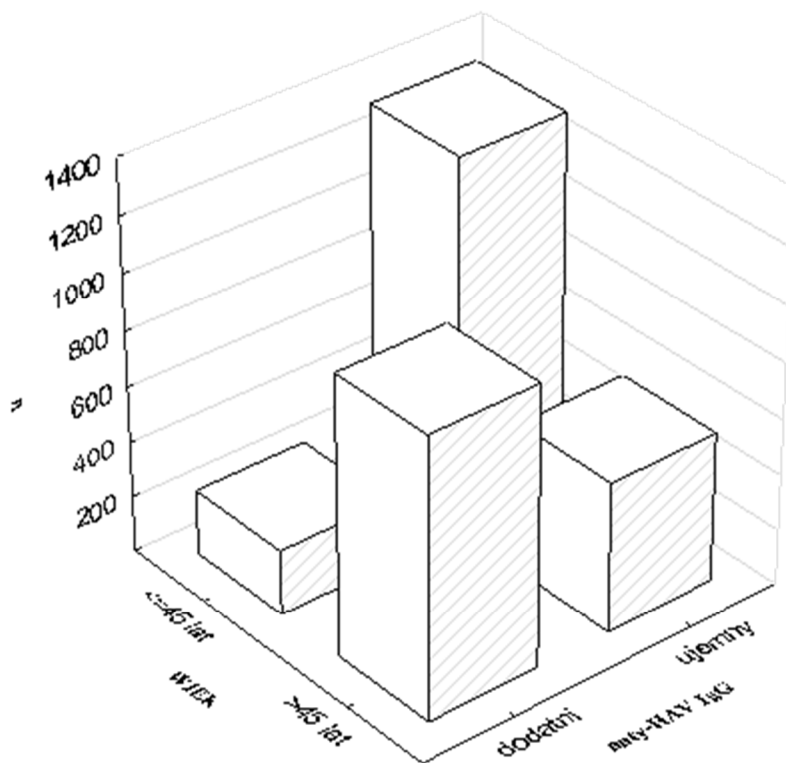


Fig. 4 Correlation between age and anti-HAV IgG test result.

Ryc. 4 Korelacja pomiędzy wiekiem a wynikiem badania anty-HAV IgG.

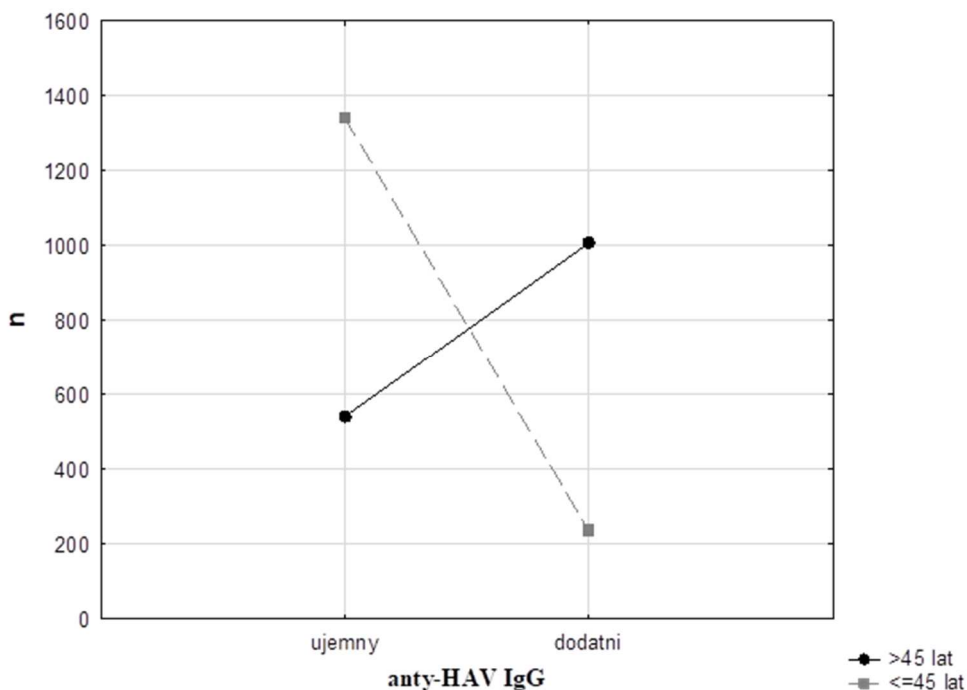


Fig. 5 Presence of specific anti-HAV class IgG antibodies by age.

Ryc. 5 Obecność swoistych przeciwciał anty-HAV w klasie IgG w zależności od wieku.

DYSKUSJA

Częstość występowania HAV w danej populacji koreluje z warunkami sanitarno-higienicznym i społeczno-ekonomicznymi. Endemiczność HAV jest najczęściej klasyfikowana jako wysoka, pośrednia i niska w oparciu o seroprewalencję IgG anty-HAV (>50%, 15-50% <15%) [13]. Wysoka endemiczność obserwowana jest w krajach o słabych/niskich warunkach sanitarno-higienicznych (głównie w Afryce i Azji). Wysoka seroprewalencja odzwierciedla, że większość populacji jest odporna na HAV [14].

W krajach rozwijających się w Azji, Afryce czy Ameryce Południowej dowody przebytej infekcji są niemal powszechne. Natomiast, zapadalność w wielu europejskich krajach, USA czy Kanadzie jest niska [6,10,15].

Badanie przeprowadzone w Korei wykazało ogólną seroprewalencję HAV na poziomie 63,8% [16]. W Japonii odnotowano na przestrzeni 30 lat znaczny spadek seroprewalencji HAV, z 96,9% w 1973 roku do 12,2% w 2003 roku [17].

Lagarde i wsp. w badaniu seroprewalencji przeprowadzonym wśród żołnierzy francuskich, stwierdziła, że częstość występowania przeciwciał HAV wynosi 16,3% [18]. Badania populacji niemieckiej [19] wskazują, że seroprewalencja HAV wśród młodzieży i dorosłych wynosi poniżej 40% w wieku 30 lat. W badaniu własnym zaobserwowano, że odsetek osób uodpornionych powyżej 45 roku życia jest znamienne wyższy w porównaniu z młodszą częścią populacji. Może to wynikać z faktu, iż w latach 70 ub. wieku Polska zaliczana była do krajów o wysokiej endemiczności HAV, z zapadalnością ocenianą na około 250/100 000 osób [20].

Według badań przeprowadzonych w USA, w latach 1988-1994 i 1999-2006 odnotowano znaczny spadek odporności na HAV wśród dorosłej populacji [21]. Wykazano również wzrost częstości hospitalizacji wśród osób zakażonych HAV, wynikający z wyższego odsetka infekcji objawowych wśród populacji dorosłych w ciągu ostatniej dekady [22].

W badaniach własnych również zaobserwowano znaczny spadek odporności na HAV w dorosłej populacji poniżej 45 roku życia.

HAV u dzieci jest zwykle bezobjawowy. Rokowanie są zwykle dobre, a śmiertelność niska (0,1%). Śmiertelność wzrasta proporcjonalnie z wiekiem, aż do 2,1% wśród ≥ 40 lat [3,6,7]. Przesunięcie grupy wiekowej, w której najczęściej dochodzi do zachorowań na HAV w kierunku osób dorosłych, zwiększyła częstość występowania choroby objawowej [23,24]. Z danych rutynowo gromadzonych w Polsce na potrzeby nadzoru epidemiologicznego wynika, że w analizowanych latach (2012 -2019) spośród wszystkich nowych przypadków zachorowań na wirusowe zapalenie wątroby typu A, 90-100% osób wymagało hospitalizacji [12].

Badania własne pokazują, że 87-96% osób poniżej 29 roku badania (w zależności od analizowanego roku) nie posiada swoistych przeciwciał anty-HAV w klasie IgG.

W badaniach Janaszek-Seydlitz i wsp. przeprowadzonych na wybranej populacji mieszkańców Warszawy, wykazano że przeciwciała anty-HAV w klasie IgG wykryto tylko u 31-38% pacjentów w wieku 16-25

DISCUSSION

The prevalence of HAV in a population correlates with sanitation, hygiene and socio-economic conditions. HAV endemicity is most commonly classified as high, intermediate and low based on anti-HAV IgG seroprevalence (>50%, 15-50% <15%) [13]. High endemicity is observed in countries with poor/low sanitation and hygiene (mainly in Africa and Asia). High seroprevalence reflects that the majority of the population is resistant to HAV [14].

In developing countries in Asia, Africa or South America, evidence of infection is almost universal. In contrast, the incidence in many European countries, the USA or Canada is low [6,10,15].

A study conducted in Korea showed an overall HAV seroprevalence of 63.8% [74]. In Japan, there was a significant decrease in HAV seroprevalence over 30 years, from 96.9% in 1973 to 12.2% in 2003 [17].

In a seroprevalence study carried out among French soldiers Lagarde et al. found the prevalence of HAV antibodies to be 16.3% [18]. A study of the German population [19] indicates that HAV seroprevalence among adolescents and adults is less than 40% at the age of 30 years.

In our study, we observed that the proportion of immunized persons over 45 years of age was significantly higher compared to the younger part of the population. This may be due to the fact that in the 1970s Poland was among the countries with high HAV endemicity, with an incidence estimated at about 250/100 000 persons [20].

According to a study conducted in the USA, there has been a significant decline in HAV immunity among the adult population between 1988-1994 and 1999-2006 [21]. An increase in hospitalisation rates among HAV-infected individuals has also been demonstrated due to a higher rate of symptomatic infections among the adult population over the past decade [22].

Our own study also revealed a significant decline in HAV immunity in the adult population under 45 years of age.

In children, HAV is usually asymptomatic. Prognosis is usually good and mortality is low (0.1%). Mortality rate increases proportionally with age, up to 2.1% among people aged ≥ 40 years [66]. Shifting the age group in which HAV incidence is most common towards adults has increased the prevalence of symptomatic disease [23,24]. Data routinely collected for epidemiological surveillance in Poland show that in the years analysed (2012 -2019), of all new cases of hepatitis A, 90-100% required hospitalisation [12].

Our original research shows that 87-96% of people under 29 years of age (depending on the year analysed) do not have specific anti-HAV IgG antibodies.

In a Janaszek-Seydlitz et al. study conducted on a selected population of Warsaw residents, it was shown that anti-HAV antibodies in the IgG class were detected in only 31-38% of patients aged 16-25 years, and 90% of the population over 40 years of age were seropositive [25]. Similarly, a study conducted in the Wielkopolska region showed a higher susceptibility to HAV infection among adults under 40 years of age [26]. In other Polish studies, seropositivity ranged from 21.4 per cent in the age group 20-29 years to 75.8 per cent for those over 50 years of age [27]. A study conducted at the Infectious Diseases Unit in

lat, a 90% populacji powyżej 40 roku życia była seropozytywna [25]. Podobnie, badania prowadzone w regionie wielkopolski wykazały większą podatność na zakażenie HAV wśród dorosłych poniżej 40 roku życia [26]. W innych polskich badaniach seropozytywność wynosiła od 21,4% w grupie wiekowej 20-29 lat do 75,8% u osób w wieku powyżej 50 lat [27]. Badania przeprowadzone w Oddziale Zakaźnym Choroby w Białymstoku, wykazały że anty-HAV dodatnie zaobserwowano u 38,5% pacjentów w grupie wiekowej 18-34 i u 83,6% osób powyżej 35 roku życia [28].

W badaniach własnych również wykazano niską seroprewalencję wśród osób poniżej 45 roku życia. Tylko 14,93% badanej populacji uzyskało pozytywny wynik anty-HAV IgG. Aż 85,07% tej grupy miało wynik negatywny.

W ciągu ostatnich 20 lat globalne obciążenie wirusem zapalenia wątroby typu A znacznie zmniejszyło się [14,20,21]. Jednak Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) nadal definiuje większość krajów świata o niskich i średnich dochodach jako doświadczających wysokiej lub średniej endemiczności wirusa zapalenia wątroby typu A [1,6]. Większość krajów Unii Europejskiej zaliczana jest do obszarów niskiej lub bardzo niskiej endemiczności HAV [10,11]. W takich populacjach (z rosnącym odsetkiem osób podatnych) podróż jest ważnym czynnikiem ryzyka infekcji [24,29,30]. Turyści podróżując do krajów o wysokiej endemiczności HAV zarażają się podczas spożywania skażonej żywności lub napojów [11,31,32]. Polskie dane epidemiologiczne wskazują, że w latach 2012-2019 przypadki zawlekane z krajów o wysokiej i pośredniej endemiczności HAV stanowiły ok. 31-46% ogólnej liczby zachorowań na wzw typu A [12]. WHO i większość krajów UE zaleca szczepienie HAV podróżnym odwiedzającym kraje o średniej lub wysokiej endemiczności [1,6,10].

Niski naturalny poziom odporności przeciwko wirusowemu zapaleniu wątroby typu A tworzy populację podatną na wystąpienie epidemii. [9,14,16]. Ryzyko zachorowania na wirusowe zapalenie wątroby typu A może być znacznie zmniejszone poprzez zwiększenie świadomości populacji i zachęcenie do szczepień przeciwko HAV. Dotyczy to zwłaszcza osób poniżej 45 roku życia jak i turystów podróżujących do krajów o wysokiej endemiczności [29,30,33]

WNIOSKI

Ryzyko zakażenia wirusem zapalenia wątroby typu A u osób poniżej 45 roku życia jest wysokie ze względu na powszechną seronegatywność (85,07%) dla przeciwciał anty-HAV w tej grupie wiekowej.

Osoby po 45 roku życia w większości były seropozytywne, co świadczy o przebytych zakażeniach HAV w przeszłości. Prawie do końca lat 70, Polska była zaliczana do krajów o wysokiej endemiczności HAV.

Rozpowszechnianie informacji o możliwości zapobiegania wirusowemu zapaleniu wątroby typu A poprzez szczepienie powinno być właściwą reakcją na obserwowany niski poziom uodpornienia wśród osób poniżej 45 roku życia.

Przeprowadzanie przed szczepieniem badania swoistych przeciwciał anty-HAV IgG u osób w wieku powyżej 45 roku życia może przyczynić się do obniżenia kosztów profilaktyki.

Białystok, Poland, showed that anti-HAV positivity was observed in 38.5 per cent of patients aged between 18 and 34 and in 83.6 per cent of those aged over 35 [28].

Our own study also showed low seroprevalence among those under 45 years of age. Only 14.93% of the study population was positive for anti-HAV IgG. As many as 85.07% of this group were negative.

The global burden of hepatitis A virus has decreased significantly over the past 20 years [14,20,21]. However, the World Health Organisation (WHO) still defines most of the world's low- and middle-income countries as experiencing high or moderate hepatitis A virus endemicity [1,6]. Most countries in the European Union are classified as areas of low or very low HAV endemicity [10,11]. In such populations (with increasing proportions of susceptible individuals), travel is an important risk factor for infection [24,29,30]. Tourists travelling to countries with high HAV endemicity become infected when consuming contaminated food or drink [11,31,32]. Polish epidemiological data indicate that in 2012-2019, imported cases from countries with high and intermediate HAV endemicity accounted for approximately 31-46% of the total number of hepatitis A cases [12]. The WHO and most EU countries recommend HAV vaccination for travellers visiting countries with intermediate or high endemicity [1,6,10].

Low natural levels of immunity against hepatitis A create an epidemic-prone population. [9,14,16]. The risk of contracting hepatitis A can be significantly reduced by increasing population awareness and encouraging HAV vaccination. This is especially true for people under 45 years of age as well as tourists travelling to highly endemic countries [29,30,33].

CONCLUSIONS

The risk of hepatitis A virus infection in people under 45 years of age is high due to the widespread seronegativity (85.07%) for anti-HAV antibodies in this age group.

People over 45 years of age were mostly seropositive, indicating a history of HAV infection. Almost until the late 1970s, Poland was considered a country with high HAV endemicity.

An appropriate response to the observed low immunization rates among people under 45 years of age should consist in disseminating information about the possibility of preventing hepatitis A through vaccination. Pre-vaccination testing of specific anti-HAV IgG antibodies in people over 45 years of age may help to reduce the cost of preventive measures.

REFERENCES

1. World Health Organization. Hepatitis A Fact sheet No. 328. Available from: <http://www.searo.who.int/thailand/factsheets/fs0030/en/> [Accessed: 31 July 2019];
2. Feinstone SM. History of the discovery of hepatitis A virus. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 2019;9(5):9-22;
3. Livni G, Plotkin S, Yuhas Y, Chodik G, Aloni H, Lerman Y, Ashkenazi S. Seroepidemiology of hepatitis A antibodies among children's hospital staff. *Pediatr Infect Dis J*. 2002, 21(7): 618–622;
4. Kaslow, R. A., Stanberry, L. R., Duc, L. & James, W. *Viral infections in humans: epidemiology and control*. Vol. 5th edition, 2014, 417–38;
5. Lemon, S. M., Ott, J. J., Van Damme, P. & Shouval, D. Type A viral hepatitis: A summary and update on the molecular virology, epidemiology, pathogenesis and prevention. *Journal of Hepatology*. 2018, 68, 167–184, <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2017.08.034>;
6. Franco E, Meleleo C, Serino L, et al. Hepatitis A: epidemiology and prevention in developing countries. *World J Hepatol* 2012;4:68;
7. Vaughan G, Goncalves Rossi LM, Forbi JC, et al. Hepatitis A virus: host interactions, molecular epidemiology and evolution. *Infect Genet Evol* 2014;21:227–43;
8. Trepo C. A brief history of hepatitis milestones. *Liver International*. 2014;34:29-37;
9. Jacobsen, K. H. & Wiersma, S. T. Hepatitis A virus seroprevalence by age and world region, 1990 and 2005. *Vaccine*. 2010, 28, 6653–6657, <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.08.037>;
10. Hepatitis A virus in the EU/EEA, 1975-2014. A systematic review of seroprevalence and incidence comprising European surveillance data and national vaccination recommendations. Stockholm: ECDC; 2016. Available from: <https://ecdc.europa.eu/en/publications-data/hepatitis-virus-eeea-1975-2014>;
11. Kurkela S, Pebody R, Kafatos G, Andrews N, Barbara C, Bruzzone B, et al. Comparative hepatitis A seroepidemiology in 10 European countries. *Epidemiol Infect*. 2012 Dec;140(12):2172-81;
12. Meldunki o zachorowaniach na choroby zakaźne, zakażeniach i zatruciach w Polsce Available from: http://wwwold.pzh.gov.pl/oldpage/epimeld/index_p.html#04;
13. Shouval D. The immunological basis for immunization series. In: *Immunization Vaccines and Biologicals*. Switzerland: World Health Organization Department of Immunization; 2010. p. 39;
14. Mohd Hanafiah K, Jacobsen KH, Wiersma ST. Challenges to mapping the health risk of hepatitis A virus infection. *International Journal of Health Geographics*. 2011;10:57;
15. Klevens RM, Miller JT, Iqbal K, Thomas A, Rizzo EM, Hanson H, et al. The evolving epidemiology of hepatitis a in the United States: incidence and molecular epidemiology from population-based surveillance, 2005-2007. *Arch Intern Med*. 2010;170(20):1811-8. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.401>;
16. Yun H, Lee HJ, Yoon Y, Kim K, Kim S, Shin MH, et al. Seroprevalence of hepatitis-antibodies in relation to social factors, a preliminary study. *Osong Public Health and Research Perspectives*. 2012;3(1):31-35;
17. Kiyohara T, Sato T, Totsuka A, Miyamura T, Ito T, Yoneyama T. Shifting Seroepidemiology of hepatitis A in Japan, 1973-2003. *Microbiology and Immunology*. 2007;51(2):185-191;
18. Lagarde E, Jousset M, Lataillade J, Fabre G. Risk factors for hepatitis A infection in France: Drinking tap water may be of importance. *European Journal of Epidemiology*. 1995;11(2):145-148;
19. Poethko-Muller C, Zimmermann R, Hamouda O, Faber M, Stark K, Ross RS, et al. [Epidemiology of hepatitis A, B, and C among adults in Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2013 May;56(5-6):707-15;
20. Magdzik W., Czarkowski M. Zmiany w endemiczności wirusowego zapalenia wątroby typu A (WZW A) w Polsce. *Przegl Epidemiol* 2004; 58: 355-60;
21. Ly KN, Klevens RM. Trends in disease and complications of hepatitis A virus infection in the United States, 1999-2011: A new concern for adults. *The Journal of Infectious Diseases*. 2015;212:176-182;
22. Klevens, R. M., Denniston, M. M., Jiles-Chapman, R. B. & Murphy, T. V. Decreasing immunity to hepatitis A virus infection among US adults: Findings from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES), 1999–2012. *Vaccine*. 2015, 33, 6192–6198, <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.10.009>;
23. Koff RS. Hepatitis A. *Lancet*. 1998;351(9116):1643-9. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)01304-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)01304-X);
24. Gossner CM, Severi E, Danielsson N, Hutin Y, Coulombier D. Changing hepatitis A epidemiology in the European Union: new challenges and opportunities. *Euro Surveill*. 2015;20(16):21101. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2015.20.16.21101>;
25. Janaszek-Seydlitz W, Bucholc B, Wiatrzyk A. Poziom przeciwciał przeciwko wirusowemu zapaleniu wątroby typu A u osób z terenu Warszawy (Prevalence of anti-HAV antibodies in Warsaw population). *Przegl Epidemiol*. 2007; 61(4): 675-682;
26. Bura M, et al. Seroprevalence of hepatitis A virus antibodies (anti-HAV) in adult inhabitants of Wielkopolska region, Poland – the role of simple demographic factors. *Ann Agric Environ Med* 2012;19 (4):738-741;
27. Polz-Dacewicz MA, Policzekiewicz P, Badach Z. Changing epidemiology of hepatitis A virus infection – a comparative study in Central Eastern Poland (1990-1999). *Med Sci Monit*. 2000; 6(5): 989-993;
28. Chlabicz S, Grzeszczuk A. Przewlekłe zapalenie wątroby typu C a ryzyko zakażenia wirusem zapalenia wątroby typu A (Chronic hepatitis C and risk for hepatitis A infection). *Przegl Epidemiol*. 2001; 55(3): 281-286;
29. Hendrickx, G. et al. Has the time come to control hepatitis A globally? Matching prevention to the changing epidemiology. *J Viral Hepat* 15(Suppl 2), 1–15, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2893.2008.01022.x> (2008);
30. Kumbang J, Ejide S, Tedder RS, Ngui SL. Outbreak of hepatitis A in an extended family after importation by non-immune travellers. *Epidemiol Infect*. 2012;140(10):1813-20. <https://doi.org/10.1017/S0950268811002561>;
31. Fiore, A. E. Hepatitis A transmitted by Food. *Food Safety* 2004, 38;
32. Sane J, MacDonald E, Vold L, Gossner C, Severi E, on behalf of the International Outbreak Investigation Team. Multistate foodborne hepatitis A outbreak among European tourists returning from Egypt—need for reinforced vaccination recommendations, November 2012 to April 2013. *Euro Surveill*. 2015;20(4):21018. <https://doi.org/10.2807/1560-7917>;
33. Pedersini R, Marano C, De Moerlooze L, Chen L, Vietri J. HAV & HBV vaccination among travellers participating in the National Health and Wellness Survey in five European countries. *Travel Med Infect Dis*. 2016;14(3):221-32. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2016.03.008>.

dr n. med. Gabriela Henrykowska
Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego
Uniwersytet Medyczny w Łodzi
gabriela.henrykowska@umed.lodz.pl



SCIENTIFIC DIVING IN POLAND AND INVITATION TO THE POLISH COMMITTEE ON SCIENTIFIC DIVING

NURKOWANIE NAUKOWE W POLSCE I ZAPROSZENIE DO POLSKIEGO KOMITETU NURKOWANIA NAUKOWEGO

Piotr Bałazy¹, Bartosz Kontry², Janusz Różycki³, Michał Saniewski⁴, Dariusz Puczko⁵, Andrzej Pydyn⁶

¹ Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences, Powstańców Warszawy 55, 81-712, Sopot, Poland, balazy@iopan.pl, ORCID 0000-0002-1126-3151

² Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Powstańców Warszawy 55, 81-712, Sopot, balazy@iopan.pl, ORCID 0000-0002-1126-3151

³ University of Warsaw (Faculty of Archeology), ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warsaw, ORCID 0000-0003-3627-046X

⁴ Uniwersytet Warszawski (Wydział Archeologii), ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warszawa, ORCID 0000-0003-3627-046X

⁵ National Maritime Museum in Gdańsk, Ołowianka 9-13, 80-751 Gdańsk, ORCID 0000-0002-8335-4386

⁶ Narodowe Muzeum Morskie w Gdańsku, Ołowianka 9-13, 80-751 Gdańsk, ORCID 0000-0002-8335-4386

⁷ Institute of Meteorology and Water Management National Research Institute, Podleśna 61, 01-673 Warsaw, ORCID 0000-0002-2347-1660

⁸ Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy, Podleśna 61, 01-673 Warszawa, ORCID 0000-0002-2347-1660

⁹ Institute of Biochemistry and Biophysics of the Polish Academy of Sciences, ul. Adolfa Pawińskiego 5a, 02-106 Warsaw, Poland

¹⁰ Instytut Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk, ul. Adolfa Pawińskiego 5a, 02-106 Warszawa

¹¹ Nicolaus Copernicus University in Toruń, 87-100 Toruń, ul. Gagarina 11, Center for Underwater Archeology, ORCID 0000-0001-9478-9863

¹² Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 87-100 Toruń, ul. Gagarina 11, Centrum Archeologii Podwodnej, ORCID 0000-0001-9478-9863

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Scientific diving (i.e. diving for research purposes organised by universities and research institutes) was excluded from the Act on the performance of underwater works in 2014. With the exception of the introduction of internal regulations at several academic institutions involved in underwater research, to date it remains unregulated at national level. In May this year, an initiative group consisting of six scientific institutions established the Polish Scientific Diving Committee - PKNN. Its aim is to unite Polish institutions using scientific diving in their activities, to represent their interests in the national and international arena, to co-operate and exchange experience, to adopt and develop appropriate standards and procedures, including those relating to safety, and to achieve the future introduction in Poland of regulations fully regulating scientific diving, as well as to support the development of this field of underwater research in Poland.

Key words: research diving, underwater research, underwater works.

Nurkowanie naukowe (tj. nurkowanie w celach badawczych organizowane przez uczelnie i instytuty badawcze) zostało wyłączone spod ustawy o wykonywaniu prac podwodnych w 2014 r. Za wyjątkiem wprowadzenia wewnętrznych regulacji w kilku instytucjach naukowych zajmujących się badaniami podwodnymi, na poziomie krajowym pozostaje ono jak dotąd nieregulowane żadnymi przepisami. Grupa inicjatywna składająca się z sześciu instytucji naukowych w maju b.r. powołała do życia Polski Komitet Nurkowania Naukowego – PKNN. Jego celem jest zjednoczenie polskich instytucji wykorzystujących nurkowanie naukowe w swojej działalności, reprezentowanie ich interesów na arenie krajowej i międzynarodowej, współpraca i wymiana doświadczeń, przyjęcie i wypracowanie odpowiednich norm i procedur, w tym w zakresie bezpieczeństwa, a także doprowadzenie w przyszłości do wprowadzenia w Polsce przepisów regulujących w pełni nurkowanie naukowe, jak również wspieranie rozwoju tej dziedziny badań podwodnych w Polsce.

Słowa kluczowe: pletwonurkowanie w celach badawczych, badania podwodne, prace podwodne.

Погружение с научными целями (т. е. погружение в исследовательских целях, организуемое университетами и научно-исследовательскими институтами) исключено из Закона о выполнении подводных работ в 2014 г., за исключением введения внутренних правил в ряде научных учреждений, занимающихся подводными исследованиями. На национальном уровне оно до настоящего времени остается не урегулированным какими-либо нормативными правовыми актами. Инициативная группа в составе шести научных учреждений, в мае этого года учредила Польский Научный Водолазный Комитет — PKNN. Его целью является объединение польских учреждений, которые используют погружение для научных задач в своей деятельности, представление их интересов на национальной и международной арене, сотрудничество и обмен опытом, принятие и развитие соответствующих стандартов и процедур, в том числе в области безопасности, а также введение в Польшу в будущем правил, полностью регулирующих погружение для научных задач, а также поддержка развития этого направления подводных исследований в Польше.

Ключевые слова: подводное плавание с аквалангом с исследовательскими целями, подводные исследования, подводные работы.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 77 – 83

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0018

Pages: 7, figures: 1, tables: 0

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

Typ artykułu: informacyjny
Informative article

Termin nadesłania: 23.04.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.05.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Wissenschaftliches Tauchen (d. h. Tauchen zu Forschungszwecken, das von Universitäten und Forschungsinstituten organisiert wird) wurde 2014 vom "Unterwasserarbeitsgesetz" ausgenommen. Abgesehen von der Einführung interner Vorschriften in mehreren wissenschaftlichen Einrichtungen, die sich mit Unterwasserforschung befassen, ist das wissenschaftliche Tauchen auf nationaler Ebene bisher nicht geregelt. Eine Initiativgruppe von sechs wissenschaftlichen Einrichtungen hat im Mai dieses Jahres das Polnische Wissenschaftliche Tauchkomitee - PKNN - gegründet. Ihr Ziel ist es, polnische Institutionen, die wissenschaftliches Tauchen in ihrer Tätigkeit einsetzen, zu vereinen, ihre Interessen auf nationaler und internationaler Ebene zu vertreten, zusammenzuarbeiten und Erfahrungen auszutauschen, geeignete Normen und Verfahren, auch im Hinblick auf die Sicherheit, zu verabschieden und zu entwickeln, die Einführung von Vorschriften, die das wissenschaftliche Tauchen vollständig regeln, in Polen zu bewirken und die Entwicklung dieses Bereichs der Unterwasserforschung in Polen zu unterstützen.

Schlüsselwörter: Forschungstauchen, Unterwasserforschung, Unterwasserarbeit.

El buceo científico (es decir, el buceo con fines de investigación organizado por universidades e institutos de investigación) fue excluido de la ley sobre realización de trabajos subacuáticos en el año 2014. A excepción de la introducción de regulaciones internas en algunas instituciones científicas dedicadas a los estudios subacuáticos, a nivel nacional sigue sin estar regulado por ningún reglamento. Un grupo de iniciativa formado por seis instituciones científicas constituyó en mayo de este año el Comité Polaco de Buceo Científico (PKNN). Su objetivo es la agrupación de las instituciones polacas que emplean el buceo científico en su actividad, la representación de sus intereses en el ámbito nacional e internacional, la colaboración y el intercambio de experiencias, la aprobación y el desarrollo de las normas y procedimientos adecuados, también en materia de seguridad, así como la introducción en el futuro en Polonia de reglamentos que regulen en su totalidad el buceo científico, así como el apoyo del desarrollo de este campo de investigaciones subacuáticas en Polonia.

Palabras clave: buceo con fines científicos, investigaciones subacuáticas, trabajos subacuáticos.

WSTĘP

Nurkowanie naukowe (z ang. *scientific diving* lub bardziej precyzyjnie *occupational scientific diving*) wg. europejskiej definicji to nurkowanie realizowane na potrzeby profesjonalnych badań, edukacji, ochrony i monitorowania dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego, realizowane przez profesjonalistów, tj. naukowców reprezentujących określoną dyscyplinę, pracujących w zawodzie. Jako wydajne i efektywne narzędzie badawcze „in situ” wspiera i rozwija badania naukowe w takich dziedzinach jak hydrobiologia, biologia i geologia morska, oceanografia fizyczna, chemia morza, archeologia podwodna i inne (Rys. 1abc). Dostarcza zarówno sprawdzonych jak również innowacyjnych, ukierunkowanych technik selektywnego pobierania próbek oraz złożonych prac eksperymentalnych pod wodą takich jak badania ilościowe, obserwacje ilościowe, dokonywanie pomiarów in-situ, przeprowadzanie badań oddziaływania, przeprowadzanie analiz ekologicznych, ewaluację nowych technik, mapowanie obszarów podwodnych, profilowanie geologiczne i geochemiczne, oraz precyzyjne rozmieszczenie/wydobycie aparatury podwodnej) [1, 2]. W zakresie archeologii wskazać należy coraz doskonalsze metody poszukiwania stanowisk, ich eksplorację i dokumentację, pobieranie i analizę próbek, a także wydobywanie i konserwację źródeł archeologicznych. W świetle powyższego nurkowanie naukowe nie jest ani nurkowaniem rekreacyjnym ani też komercyjnym. Mimo pewnych podobieństw nie należy go także mylić z wykorzystaniem nurkowania w nauce obywatelskiej (z ang. *citizen science*), które jest realizowane w całości, lub w części, na zasadzie wolontariatu przez amatorów lub hobbystów. Nie ma także wiele wspólnego ze szkoleniem nurków rekreacyjnych przez agencje nurkowania rekreacyjnego do specjalności typu „nurek ekolog/archeolog”. Szkolenia te niewątpliwie poszerzają rozumienie podwodnego świata wśród społeczeństwa i uświadamiają konieczność jego ochrony, są niezwykle cenne przy realizacji różnego rodzaju obywatelskich projektów naukowych, ale nie kwalifikują właścicieli takich certyfikatów do zawarcia umowy i zatrudnienia jako nurek naukowy, jak zdefiniowano powyżej [2].

W Polsce nurkowanie naukowe, jako jedyny przepis prawny jak dotąd, definiuje ustawa z 9 maja 2014 r. o ułatwieniu dostępu do wykonywania niektórych zawodów regulowanych (Dz.U. 2014 poz. 768). Ustawa ta wyłącza „pletwonurkowanie w celach badawczych organizowane przez uczelnie i instytuty badawcze” spod ustawy o wykonywaniu prac podwodnych (tj. ustawy z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych, Dz. U. Nr 199, poz. 1936, z późn. zm.). Tę właśnie datę należałoby przyjąć za rozpoznanie nurkowania naukowego (tj. nurkowania w celach badawczych organizowanego przez uczelnie i instytuty badawcze, dalej w artykule traktowane jak pojęcia tożsame) przez polskie prawo.

Oczywiście nurkowanie naukowe w Polsce ma o wiele dłuższe tradycje, sięgające już roku 1935 [3]. Niestety pomimo jego intensywnemu rozwojowi, na różnych polach podwodnej działalności naukowej [np. 4,5,6,7,8,9,10], za wyjątkiem wprowadzenia wewnętrznych regulacji po roku 2014 do kilku zaledwie instytucji, na poziomie krajowym pozostaje ono jak dotąd nieuregulowane żadnymi przepisami. Sytuacja braku

INTRODUCTION

Scientific diving or more precisely occupational scientific diving is defined in Europe as diving carried out for the purposes of professional research, education, conservation and monitoring of the natural and cultural heritage, carried out by professionals, i.e. scientists representing a specific discipline, working in their profession. As an efficient and effective 'in situ' research tool, it supports and advances scientific research in domains such as hydrobiology, marine biology and geology, physical oceanography, marine chemistry, underwater archaeology and others (Fig. 1abc). It provides established as well as innovative, targeted techniques for selective sampling and complex underwater experimental work such as quantitative surveys, quantitative observations, conducting in-situ measurements, performing impact studies, carrying out ecological analyses, evaluating new techniques, mapping underwater areas, geological and geochemical profiling, and precise deployment/extraction of underwater instruments) [1, 2]. In the area of archaeology, mention should be made of the increasingly improved methods of site search, exploration and documentation, sampling and analysis as well as the excavation and conservation of archaeological sources. In light of the above, scientific diving is neither recreational nor commercial diving. Despite some similarities, it should also not be confused with the application of diving in citizen science, which is carried out entirely, or in part, on a voluntary basis by amateurs or hobbyists. Nor does it have much in common with the training of recreational divers by recreational diving agencies for specialisations such as 'ecologist/archaeologist diver'. Such training undoubtedly broadens the public's understanding of the underwater world and raises awareness of the need to protect it, as well as is extremely valuable for various citizen science projects, however it does not qualify the holders of such a certificate for contract and employment as a scientific diver, as defined above [2].

In Poland, scientific diving is defined by the Act of 9 May 2014 on Facilitating Access to Certain Regulated Professions (Journal of Laws 2014, item 768) as the only legal provision to date. This Act excludes 'diving for research purposes organised by universities and research institutes' from the Underwater Works Act (i.e. the Act of 17 October 2003 on the Underwater Works, Journal of Laws. No. 199, item 1936, as amended). This date would serve as the moment when scientific diving (i.e. diving for research purposes organised by universities and research institutes, further on in the article treated as identical terms) should be recognised by Polish law.

Naturally, scientific diving in Poland has a much longer tradition, dating back to 1935 [3]. Unfortunately, despite its intensive development, in various fields of underwater scientific activity [e.g. 4,5,6,7,8,9,10], with the exception of the introduction of internal regulations after 2014 to only a handful of institutions, it has remained unregulated at the national level to this day. The situation of the absence of regulation consists, inter alia, of: - the lack of clarification of the necessary qualifications of the scientific divers themselves, - their qualifications and the type of work they perform, - medical examinations to qualify them for scientific diving, - adequate insurance, or finally - the liability of the employer for their actions

regulacji polega między innymi na: - braku sprecyzowania niezbędnych kwalifikacji samych nurków naukowych, - ich uprawnień i rodzaju wykonywanych przez nich prac, - medycznych badań kwalifikujących do nurkowania naukowego, - odpowiedniego ubezpieczenia, czy też wreszcie - odpowiedzialności pracodawcy za ich działania pod wodą nie wspominając o ewentualnych komplikacjach mogących się pojawić w ramach prowadzonej współpracy międzynarodowej dotyczących mobilności naukowców. Wobec braku uregulowań prawnych na poziomie krajowym, a tym samym braku rozpoznawalności za granicą, możliwość angażowania się polskich nurków naukowych w zagraniczne projekty może być ograniczona.

W skali Europy problem ujednoczenia zasad i procedur nurkowania naukowego został rozpoznany odpowiednio wcześniej bo już w latach 80. W roku 2000 wczesny Europejski Komitet Nurkowania Naukowego opracował dwa europejskie standardy nurkowania naukowego: European Scientific Diver (ESD) oraz Advanced European Scientific Diver (AESD). Należy jednak podkreślić, że standardy te nie zawierają żadnych przepisów, dotyczących ubezpieczenia, badań lekarskich, zasad zatrudniania, bezpieczeństwa, wymagań stawianych przez pracodawców, limitów nurkowania, zasad uznawania krajowych szkół nurkowania naukowego itp. Wszystkie wymienione wyżej elementy powinny zostać objęte prawem krajowym i odpowiednimi dyrektywami europejskimi. Standardy ESD i AESD określają po prostu minimalne szkolenie podstawowe nurka naukowego wymagane do jego mobilności w skali Europy [11].

W roku 2007 czołowi naukowcy stosujący techniki nurkowe w swoich badaniach, z ośmiu europejskich krajów (Wielka Brytania, Francja, Szwecja, Finlandia, Polska, Włochy, Belgia i Niemcy; w tej grupie znalazła się trójka nurkujących naukowców z Polski (Prof. Piotr Kukliński - Instytut Oceanologii PAN, Dr Barbara Papińska-Swepel - Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Kmdr por. dr inż. Stanisław Poleszak - Akademia Marynarki Wojennej), rozpoczęli ogólnoeuropejską inicjatywę mającą na celu promowanie i wzmacnianie doskonałości naukowej w dziedzinie badań podwodnych wspieranych przez nurkowanie (także poprzez ustanowienie zharmonizowanych zasad i wytycznych) pod szyldem European Scientific Diving Committee (ESDC), przekształconego rok później w European Scientific Diving Panel (ESDP) [3]. Jak sądzimy, spotkanie to było przyczynkiem do szeregu mniejszych i większych spotkań polskiej społeczności naukowców wykorzystujących nurkowanie w swoich badaniach na przestrzeni ostatnich lat. Jednym z takich spotkań była też piąta z serii European Conference on Scientific Diving - pierwsza konferencja tego typu w Polsce, która odbyła się w 2019 w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie. W programie konferencji były także warsztaty, które miały na celu zintegrować polskie naukowe środowisko nurkowe [12].

Grupa inicjatywna, która się wtedy zebrała, w maju b.r. powołała do życia Polski Komitet Nurkowania Naukowego - PKNN (ang. Polish Committee on Scientific Diving) kierując się wzorem innych państw europejskich jak Francja, Belgia, Wielka Brytania, Szwecja, Norwegia, Finlandia, Włochy czy Niemcy, które takie narodowe komitety stworzyły kilka bądź kilkanaście lat temu. W Polsce, jak dotąd, porozumienie to podpisało sześć instytucji: 1) Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, 2) Uniwersytet Warszawski (Wydział

underwater, not to mention the possible complications that may arise in the framework of ongoing international cooperation concerning the mobility of scientists. In the absence of legal regulations at the national level, and thus lack of recognition abroad, the possibility for Polish scientific divers to engage in foreign projects may be limited.

The problem of harmonising the rules and procedures for scientific diving in Europe was recognised much earlier, i.e. in the 1980s. In 2000, the early European Scientific Diving Committee developed two European standards for scientific diving: European Scientific Diver (ESD) and Advanced European Scientific Diver (AESD). However, it is important to stress that these standards do not contain any provisions concerning insurance, medical examinations, employment rules, safety, employer requirements, diving limits, rules for the acknowledgement of national scientific diving schools, etc. All the elements mentioned above should be covered by national law and relevant European directives. The ESD and AESD standards simply establish the minimum basic training of a scientific diver required for their mobility across Europe [11].

In 2007, leading scientists employing diving techniques in their research, from eight European countries (UK, France, Sweden, Finland, Poland, Italy, Belgium and Germany; this group included three diving scientists from Poland (Prof. Piotr Kukliński - Institute of Oceanology PAS, Barbara Papińska-Swepel, PhD - Institute of Hydroengineering PAS, Cmdr Lt. Stanisław Poleszak, PhD, Eng - Polish Naval Academy), launched a pan-European initiative to promote and enhance scientific excellence in dive-supported underwater research (also by establishing harmonised rules and guidelines) under the banner of the European Scientific Diving Committee (ESDC), transformed a year later into the European Scientific Diving Panel (ESDP) [3]. As we believe, this meeting was a contribution to a series of smaller and larger meetings of the Polish community of scientists using diving in their research over the past years. One such meeting was also the fifth in the series of the European Conference on Scientific Diving, the first conference of its kind in Poland, which took place in 2019 at the Institute of Oceanology PAS in Sopot. The conference programme also included workshops to integrate the Polish scientific diving community [12].

The initiative group, which met in May of this year established the Polish Committee on Scientific Diving (PKNN), following the example of other European countries such as France, Belgium, the United Kingdom, Sweden, Norway, Finland, Italy or Germany, which created such national committees several or more years ago.

In Poland, six institutions have joined the agreement to date: 1) the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences in Sopot, 2) the University of Warsaw (Faculty of Archaeology), 3) the National Maritime Museum 4) Institute of Meteorology and Water Management National Research Institute in Warsaw, 5) Institute of Biochemistry and Biophysics of the Polish Academy of Sciences, 6) Nicolaus Copernicus University in Toruń - Centre for Underwater Archaeology, operating at the Faculty of Historical Sciences of the Nicolaus Copernicus University in Toruń; dealing with a wide range of underwater research both inland and at sea, as well as beyond the borders of the Baltic Sea. The objective of the Polish Scientific Diving Committee is to unite Polish institutions involved in research and scientific diving

Archeologii), 3) Narodowe Muzeum Morskie w Gdańsku, 4) Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie, 5) Instytut Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk, 6) Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu – Centrum Archeologii Podwodnej, działające przy Wydziale Nauk Historycznych UMK; zajmujących się szeroko pojętymi badaniami podwodnymi zarówno na śródlądziu jak i w morzu, także poza granicami naszego kraju. Celem Polskiego Komitetu Nurkowania Naukowego jest zjednoczenie polskich instytucji zajmujących się nurkowaniem w celach badawczych i naukowych, organizowanym przez polskie uczelnie, instytuty naukowe i badawcze oraz muzea (tj. nurkowaniem naukowym), reprezentowanie interesów stron zarówno na arenie krajowej, jak i międzynarodowej, współpraca i wymiana doświadczeń, przyjęcie i wypracowanie odpowiednich norm i procedur, w tym doprowadzenie w przyszłości do wprowadzenia w Polsce przepisów regulujących w pełni nurkowanie naukowe, jak również wspieranie rozwoju tej dziedziny badań podwodnych w Polsce. Do zadań Polskiego Komitetu Nurkowania Naukowego należy: ułatwienie komunikacji pomiędzy polskimi organizacjami badawczymi prowadzącymi działalność z wykorzystaniem nurkowania naukowego; opracowywanie i przyjęcie odpowiednich procedur i przepisów z zakresu nurkowania naukowego; stymulowanie rozwoju i wykorzystywania nurkowania naukowego w badaniach w Polsce; przygotowywanie ekspertyz, analiz, raportów z zakresu nurkowania naukowego zgodnie z wymogami Organizacji Członkowskich PKNN i innych organizacji rządowych lub pozarządowych [13].

Obecny skład Komitetu nie obejmuje wszystkich polskich instytucji zajmujących się nurkowaniem naukowym, dlatego też na łamach pisma Polish Hyperbaric Research autorzy chcieliby się zwrócić z gorącą prośbą o zapoznanie się z ideą PKNN. Wierzymy, że znajdzie się ona ze zrozumieniem i akceptacją. Zależałoby nam na jej rozpropagowaniu i rozszerzeniu PKNN tak szeroko jak tylko to możliwe, tak aby rozmaite instytucje naukowe były odpowiednio reprezentowane a głos polskich nurków naukowych słyszalny. Serdecznie zapraszamy wszystkich do współpracy w ramach PKNN i jego współtworzenia.

organised by Polish universities, scientific and research institutes and museums (i.e. scientific diving), to represent the interests of the parties both nationally and internationally, to co-operate and exchange experience, to adopt and develop appropriate standards and procedures, including leading to the introduction in the future of regulations in Poland fully regulating scientific diving, as well as to support the development of this field of underwater research in Poland. The tasks of the Polish Committee on Scientific Diving include: facilitating communication between Polish research organisations engaged in activities utilising scientific diving; developing and adopting appropriate procedures and regulations in the field of scientific diving; stimulating the development and use of scientific diving in research in Poland; preparing expert opinions, analyses, reports in the field of scientific diving in accordance with the requirements of PKNN Member Organisations and other governmental or non-governmental organisations. [13].

The present composition of the Committee does not include all Polish institutions involved in scientific diving, therefore the authors would like to extend an invitation on the pages of the journal Polish Hyperbaric Research for the readers to acquaint themselves with the idea behind the PKNN. We believe that it will find their understanding and acceptance. We would like to promote the PKNN's activity as widely as possible, to ensure proper representation of various scientific institutions and that the voice of Polish scientific divers be heard. We would like to warmly encourage everyone to cooperate with and contribute to the PKNN.

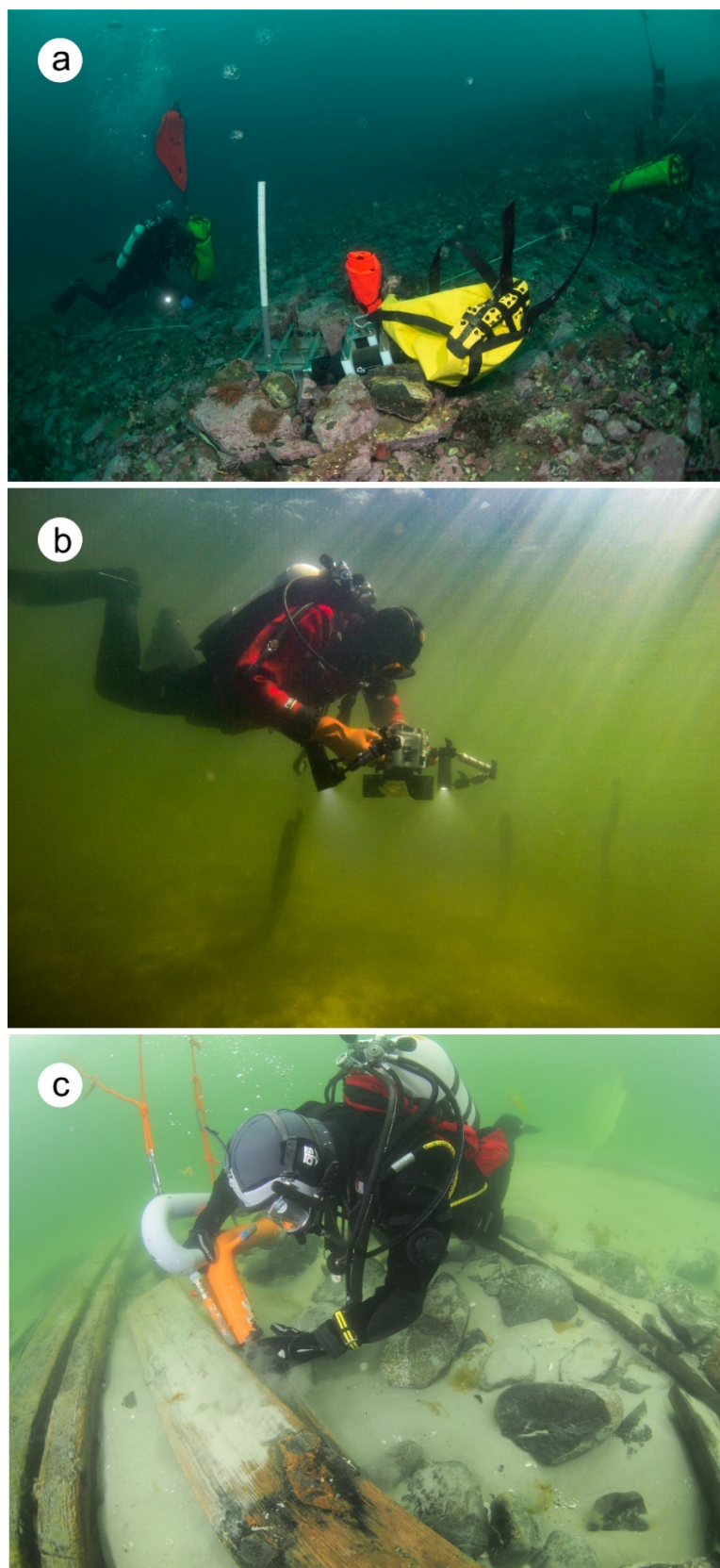


Fig. 1 A marine biologist taking samples in Isfjord (Spitsbergen), in the foreground a panel with environmental sensors and an underwater fluorimeter (a, fot. Piotr Bałazy); an underwater archaeologist making photogrammetric documentation (b, fot. Mateusz Popek); and exploring a wreck using an ejector in the Bay of Puck (c, photo Robert Domżał).

Rys. 1 Biolog morski pobierający próby w Isfjordzie (Spitsbergen), na pierwszym planie panel z czujnikami środowiskowymi i podwodny fluorometr (a, fot. Piotr Bałazy); archeolog podwodny wykonujący dokumentację fotogrametryczną (b, fot. Mateusz Popek); i prowadzący eksplorację wraka przy użyciu eżektora w Zatoce Puckiej (c, fot. Robert Domżał).

REFERENCES

1. European Scientific Diving Panel – Terms of Reference. Version of the 20th May 2022;
2. Scientific Diving purpose (Operational definition). European Scientific Diving Panel for Occupational Scientific Diving, <http://www.esdpanel.eu/scientific-diving-purpose/> [cytowano 2022-06-19];
3. Bałazy P, Kukliński P, Chelchowski M, Włodarska-Kowalczyk M, Ronowicz M. Nurkowanie w czasie pracy - nurkowania realizowane w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie/ Diving at work - dives carried out at the Institute of Oceanology PAS in Sopot. *DIVERS* 24 2020/2021; 16:74-84;
4. Bałazy P, Kukliński P, Włodarska-Kowalczyk M. Scientific diving in polar regions - the example of ecological studies at the Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences. *Polish Hyperbaric Research* 2013; 46(1), 65-84, DOI [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.4](http://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.4);
5. Kur J, Mioduchowska M. Scientific Diving in Natural Sciences. *Polish Hyperbaric Research* 2018; 65(4), 55-62, DOI 10.2478/phr-2018-0024;
6. Ossowski W (ed.), *The General Carleton Shipwreck, 1785*, Polish Maritime Museum Monograph 1, Gdańsk 2008;
7. Ossowski W (ed.), *The Copper Ship. A medieval shipwreck and its cargo / Miedziowiec. Wrak średniowiecznego statku i jego ładunek*, Archaeological Research of the National Maritime Museum in Gdańsk 2, Gdańsk 2014;
8. Popek M, Pydyn A. The Most Recent Five Years of Underwater Research in the Department of Underwater Archaeology at Nicolaus Copernicus University in Toruń, In Choluż A, Mileszczyk M, Nowakowska M (eds.), *Archaeology: Just Add Water II*, Warszawa 2019, 245-258;
9. Kontny B., Underwater Archaeology at the University of Warsaw, In Choluż A, Mileszczyk M, Trusz K (eds.), *Archaeology: Just Add Water I*, Warszawa 2018, 11-22;
10. Nowakiewicz T (ed.) *Starożytne miejsce ofiarne w jeziorze w Lubanowie (d. Herrn-See) na Pomorzu Zachodnim / Ancient Sacrificial Place in the Lake in Lubanowo (former Herrn-See) in West Pomerania*, Warszawa 2016;
11. Brief history of the ESDP. European Scientific Diving Panel for Occupational Scientific Diving, <http://www.esdpanel.eu/brief-history-of-the-esdp/> [cytowano 2022-06-19];
12. Bałazy P (ed.) *ECSD5 2019 Book of Abstracts*. Institute of Oceanology Polish Academy of Sciences 2019; 3;
13. Porozumienie w sprawie utworzenia Polskiego Komitetu Nurkowania Naukowego – PKNN/ Agreement on the establishment of the Polish Scientific Diving Committee - PKNN. Maj 2022.

Conflict of interest: The authors of this text are representatives of the member organisations of the Polish Committee on Scientific Diving.

Konflikt interesów: Autorzy tekstu są reprezentantami organizacji członkowskich Polskiego Komitetu Nurkowania Naukowego.

