Nr 1 (46)2014

ISSN 1734 - 7009
e-ISSN 2084 - 0535
kwartalnik
marzec 2014 rok

Polish – English
Bilingual Publication

PTMiTH

Polish Hyperbaric Research

Czasopismo
Polskiego Towarzystwa Medycyny
i Techniki Hiperbarycznej

Kwartalnik Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

tom 1(46) marzec 2014

Stowarzyszenia Pożytku Publicznego KRS 0000066650

Redaguje Zespół:
Editorial Board:

Redaktor Naczelny
Editor-in-Chief
Piotr Siermontowski
e-mail: naczelnyPHR@10g.pl

Redaktor Prowadzący/Korekta
Executive/Technical Editor
Małgorzata Samborska
e-mail:
phr@hyperbarex.nazwa.pl
tel. +48/739058408

Tłumaczenia
Translator
Anna Wójtowicz

Redaktor tematyczny
Nauki Techniczne
Section Editor
Technical Sciences
dr hab. inż. Ryszard Kłos
RedTech@wp.pl.

Redaktor tematyczny
Nauki Medyczne
Section Editor
Medical Sciences
prof. dr hab. med.
Romuald Olszański
RedMedPHR@wp.eu

Redaktorzy językowi
Language Editors
Stephen Burke (English)
Elena Lakomov (Русский)

Redaktor statystyczny
Statistical Editor
Adam Olejnik

www.phr.net.pl

Kontakt z redakcją:
81 – 103 Gdynia 3
ul. Grudzińskiego 4 skr. pocz. 18
tel. +48/ 73 9058408
fax. +48/ 58 626 22 30
e-mail:
phr@hyperbarex.nazwa.pl

POLISH HYPERBARIC RESEARCH

ISSN 1734 – 7009

eISSN 2084 – 0535

PolHypRes jest indeksowane w bazach:
- BazTech
- Index Copernicus
- ARIANA
- GBL

Nakład wersji drukowanej 250 egzemplarzy

QUARTERLY POLISH HYPERBARIC MEDICINE AND TECHNOLOGY SOCIETY

volume 1(46) march 2014

Oświadczenia Redakcji / Statement from the Editor

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

Artykuły nadsyłane do druku recenzowane są zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Nauki. Szczegóły procedury recenzowania na stronie internetowej www.phr.net.pl.
Submitted articles are peer-reviewed in accordance with the Ministry of Science and Higher Education guidelines. Detailed information on review procedures can be found at www.phr.net.pl.

Dbając o rzetelność naukową redakcja stosuje procedury przeciwdziałania zjawiskom „*ghostwriting*" i „*guest autorship*". Ich zachowanie przez Autorów jest warunkiem publikacji artykułu. Szczegóły procedur na stronie internetowej www.phr.net.pl.
Dbając o prawa autorskie do przeprowadzanych badań a także rzetelność procesu recenzowania Redakcja Polish Hyperbaric Research zapewnia brak konfliktu interesów pomiędzy autorami a recenzentami.
The editorial team, concerned about the journal's academic reliability, implements procedures preventing ghostwriting and guest authorship, compliance with which conditions publishing articles. Detailed information on exact procedures can be found at www.phr.net.pl.
In an effort to protect the copyrights to the conducted research as well as to ensure reliability of the reviewing process the editorial staff of Polish Hyperbaric Research hereby guarantees that there is no conflict of interest between the authors and the reviewers.

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

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

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

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

Rada Naukowa / Editorial Board

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

INSTRUKCJA DLA AUTORÓW

Materiał nadesłany do druku w PolHypRes powinien być napisany w całości czcionką Arial, Times New Roman lub Cambria 11 pcs w jednolitym stylu, bez podkreśleń, wersalików i kapitalików. Wykorzystanie pogrubienia czcionki i kursywy należy ograniczyć do niezbędnego minimum. W całym tekście należy zachować pojedyncze odstępy pomiędzy wierszami i normalne odstępy pomiędzy znakami. Wszystkie marginesy 2 cm, bez marginesu na oprawę, akapit 1,25 cm. Strona A4.

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

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

Tabele, wyłącznie - 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 8 pcs. Zdjęcia w rozdzielczości minimum 300 dpi. Dopuszcza się jednolitą numerację dla rysunków i zdjęć. Ilustracje w formacie umożliwiającym ich edycję (*.jpg, *.tif). Wykres wygenerowany za pomocą pakietu MS Excel nadsyłać należy z arkuszem źródłowym, jeśli wykres wygenerowanym w innym oprogramowaniu np. Statistica to jako plik graficzny (*.jpg, *.tif). Grafika wektorowa, nie rastrowa.

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

Szczgółowa instrukcja dla autorów znajduje się na stronie internetowej PolHypRes

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Material submitted for print in PolHypRes should be written entirely in Arial, Times New Roman or Cambria 11 pcs font in uniform style, without underlining, capitals or small capitals. The use of boldface and italics should be limited to a minimum. The whole text should maintain single spacing between paragraphs and normal spacing between characters. With the page being A4, all margins should be set at 2 cm, paragraph 1.25 cm, without leaving a margin for a frame.

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

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

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

Tables should be black and white only, be middle spaced in the text, with centralised cells, and text provided in Cambria 11 pcs. Only horizontal lines, without shading effects, are allowable in tables. Table descriptions should be provided in Arial 8 pcs.

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

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

Detailed instruction for authors is available at the PolHypRes website.

POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH

2014 NUMER 1 (46)

SPIS TREŚCI

MEDYCYNA

N. Ciesielska, R. Sokołowski, A. Popiel, M. Kozakiewicz, M. Sysakiewicz, K. Buda, K. Kędziora-Kornatowska.
Zastosowanie hiperbarycznej terapii tlenowej w leczeniu pacjentów po urazowym uszkodzeniu mózgu. Przegląd badań..... str. 7

R. Olszański, M. Dąbrowiecka, A. Kowalska, Ł. Piwowarski Z. Dąbrowiecki, P. Siermontowski
Seria dermatokosmetyczna SUBMARIMEN i FERULASHI – skuteczna odpowiedź na problemy dermatologiczne osób mających długotrwały kontakt z wodą, a szczególnie z przeznaczeniem dla płetwonurków i surferów..... str. 27

TECHNIKA

R. Kłos
Inherentne niedosycenie. Zagrożenie tlenową toksycznością ośrodkową cz. 1..... str. 37

VARIA

P. Bałazy, P. Kuklinski, M. Włodarska-Kowalczuk
Nurkowania naukowe w rejonach polarnych na przykładzie badań ekologicznych prowadzonych przez Instytut Oceanologii PAN ..... str. 65

B. Filipek, R. Olszański, W. Harmata, P. Siermontowski
Bojowe środki trujące w Morzu Bałtyckim..... str. 85

Z ZA ŻELAZNEJ KURTYNY

A. Dolatkowski, B. Szczeblewski , B. Lokucijewski, W. Kudarenko
Poziom frakcji białkowych surowicy krwi u nurków..... str. 95

Wspomnienie pośmiertne – prof. Leszek Piasecki..... str. 109

POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH

2014 NUMBER 1 (46)

LIST OF CONTENT

MEDICINE

N. Ciesielska, R. Sokołowski, A. Popiel, M. Kozakiewicz, M. Sysakiewicz, K. Buda, K. Kędziora-Kornatowska.
The use of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of patients after traumatic brain injury. Review of research..... p. 7

R. Olszański, M. Dąbrowiecka, A. Kowalska, Ł. Piwowarski Z. Dąbrowiecki, P. Siermontowski
A line of SUBMARIMEN and FERULASHI dermacosmetics - an effective response to dermatological conditions in people who are extensively exposed to water, particularly intended for divers and surfer..... p. 27

TECHNOLOGY

R. Kłos
Inherent unsaturation. The risk of central nervous system oxygen toxicity Part 1..... p. 37

VARIA

P. Bałazy, P. Kuklinski, M. Włodarska-Kowalczuk

Scientific diving in polar regions - the example of ecological studies at the Institute of Oceanology Polish Academy of Sciences..... ..... p. 65

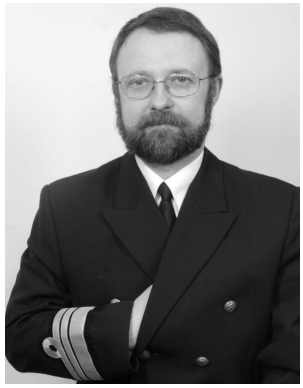
B. Filipek, R. Olszański, W. Harmata, P. Siermontowski
Chemical warfare agents in the Baltic Sea..... p. 85

FROM BEHINDE THE IRON CURTAIN

A. Dolatkowski, B. Szczeblewski , B. Lokucijewski, W. Kudarenko
Levels of protein fractions in diver's blood serum..... p. 95

Posthumous memoir – Prof. Leszek Piasecki..... p. 109

SZANOWNI CZYTELNICY



Nasz Polish Hyper-baric Research ewoluuje w kierunku nowoczesności, doskonałości a przede wszystkim spełnienia wymagań stawianych współczesnym czasopismom naukowym.

Jednym z warunków „awansu" czasopisma jest tzw. „umiędzynarodowienie"; jak najliczniejsze publikacje zagranicznych autorów, zagraniczni recenzenci, zagraniczni członkowie Rady Naukowej. Staramy się powoli temu sprostać, choć badaniami z zakresu techniki i medycyny hiperbarycznej zajmuje się na świecie wąska grupa badaczy.

Nie możemy zapominać też o dorobku polskich naukowców, naszych poprzedników i nauczycieli. Pracowali „za żelazną kurtyną", mieli ograniczony dostęp do literatury światowej i prawie żadnej możliwości publikacji wyników swojej pracy, nie mówiąc już o ograniczonym technologicznie warsztacie badawczym i środkach na te badania przeznaczonych. Efekty tych badań publikowano najczęściej w niskonakładowych, polskojęzycznych czasopismach, często środowiskowych. Zdarzało się też tak, że wyniki badań naukowców w mundurach, a prawie wyłącznie tacy zajmowali się w tych czasach medycyną i techniką hiperbaryczną, były utajniane ze względu na wagę dla obronności. Jest to normalna praktyka, podobnie dzieje się dziś, także w krajach NATO.

Z tego powodu uznaliśmy, że należy te prace badawcze i kazuistyczne udostępnić Czytelnikom „Polish Hyperbaric Research". Upływ czasu pozwolił również na zdjęcie klauzul tajności z wielu wyników badań.

Mamy nadzieję, że staną się nie tylko świadectwem dorobku polskich naukowców, ale również kanwą, na których można oprzeć dalsze, prowadzone współcześnie badania.
Nie jest żadnym odkryciem z mojej strony stwierdzenie, że prowadzone w Polsce badania z zakresu medycyny i techniki hiperbarycznej w wielu tematach o dekady wyprzedzały zainteresowanie się zagadnieniem i prowadzenie badań w krajach zachodnich. Najlepszym przykładem były badania technologii nurkowań saturowanych prowadzone przez niedawno zmarłego prof. Doboszyńskiego.

Dlatego mam nadzieję, że nowy dział w PHR „*Z za żelaznej kurtyny*" będzie ciepło przyjęty przez Was – odbiorców i czytelników. Prace publikujemy starając się w jak najmniejszym stopniu w nie ingerować. Zespół redakcyjny uzupełnia jedynie brakujące elementy (np. słowa kluczowe) aby publikacja spełniała współczesne wymagania i mogła być użyta jako źródło literaturowe.

Ponownie też proszę i apeluję o współpracę z Czasopismem, nadsyłanie uwag, pomysłów nowych rozwiązań, a szczególnie zapraszam do publikowania wyników swoich prac badawczych. Liczymy też na poszerzanie kręgu odbiorców i autorów poza granice Polski.

DEAR READERS

Our Polish Hyperbaric Research has been evolving towards modernity, perfection and, above all, fulfilment of the entirety of requirements placed before contemporary scientific magazines. One of the conditions allowing a magazine's "promotion" consists in the so-called "internationalisation"; i.e. it should contain as many publications by foreign authors as possible and utilise foreign reviewers and foreign members of the Editorial Board. We are making a steady progress at pursuing this aim, although the research concerned with hyperbaric medicine and technique is a domain concerning a narrow circle of scientists.

Also, we must not forget the accomplishments of Polish scientists, our predecessors and teachers. They worked "behind the Iron Curtain", with limited access to foreign literature and hardly any opportunity to publish the results of their works, not to mention the technically limited research facilities. The results of such studies were usually published in Polish magazines with limited circulation and a small audience. It also often happened that the results of research carried out by uniformed scientists, which was mostly the case with regard to hyperbaric medicine and technique, were considered classified due to matters related with national defence. This kind of practice is normal and still implemented today, also in the countries belonging to NATO.

For this reason, we have decided to make such research and casuistic works available to the Readers of *Polish Hyperbaric Research*. Due to a significant passage of time it was also possible to lift the confidentiality clause that had veiled numerous research results.

It is our hope that they will not only become a testimony to the scientific achievements of Polish researches, but also the groundwork on which we could base contemporary research. It is no new discovery if I say that the research within hyperbaric medicine and technique conducted in Poland was by decades ahead of a similar interest in the issue and the commencement of relevant research in Western countries. The best example involves the research on the technology of saturation diving carried out by the recently deceased Prof. Doboszyński. Therefore, I hope that the new section within PHR entitled *"From Behind the Iron Curtain"* will meet with a warm reception of our Readers. The works will be published with as little interference on our part as possible. The editorial team will supplement only the missing elements (e.g. key words) so that the publications will be able to meet the contemporary requirements and to be used as literature sources.

Moreover, I would like to ask you again for your cooperation with the magazine, involving communicating your comments, ideas for new solutions, and, particularly, I would like to encourage you to publish the results of your research works. We also count on extending the circle of our recipients and authors beyond Poland.

THE USE OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY IN THE TREATMENT OF PATIENTS AFTER TRAUMATIC BRAIN INJURY. REVIEW OF RESEARCH.

ZASTOSOWANIE HIPERBARYCZNEJ TERAPII TLENOWEJ W LECZENIU PACJENTÓW PO URAZOWYM USZKODZENIU MÓZGU. PRZEGLĄD BADAŃ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНАЦИИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ.

Natalia Ciesielska[1)], Remigiusz Sokołowski[1)], Aneta Popiel[1)], Mariusz Kozakiewicz[2)], Martyna Sysakiewicz[1)], Kamil Buda[1)], Kornelia Kędziora-Kornatowska[1)]

1) Department and Clinic of Geriatrics, Nicolaus Copernicus University Collegium Medicum, Bydgoszcz, Poland
1) Katedra i Klinika Geriatrii Uniwersytet Mikołaja Kopernika Collegium Medicum w Bydgoszczy
2) Department and Clinic of Chemistry of Foodstuffs, Nicolaus Copernicus University Collegium Medicum, Bydgoszcz, Poland
2) Katedra i Zakład Chemii Środków Spożywczych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika Collegium Medicum w Bydgoszczy

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Introduction A traumatic brain injury (TBI) may lead to permanent or temporary impairment of cognitive, sensorimotor and psychosocial functions with accompanying consciousness disorders. The most common primary pathology is the diffused axonal injury. In an early phase, despite an elevated demand of energy of cerebral tissues, the oxygen supply and its diffusion to tissues become reduced. Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is a supplementary treatment based on inhaling 100% oxygen at an increased pressure. HBOT contributes to a significant increase in oxygen pressure in the blood. This process may considerably increase the extent of oxygen diffusion from capillary vessels into the neighbouring hypoxic cells, thus facilitating their metabolism.
Objective. The objective of the study was to conduct a review of available literature aimed at finding preclinical and clinical research assessing the efficacy of HBOT in the therapeutic process related to TBI.
Material and methods. The following electronic full-text bibliographic databases were searched by entering the following key words: *hyperbaric oxygen therapy and traumatic brain injury: EBSCO host Web, Wiley Online Library, Springer Link, Science Direct* and *Medline.* The inclusion criteria encompassed preclinical and clinical examinations verifying the therapeutic efficacy of HBOT at various TBI stages and intensification levels in adults. The evaluated papers were articles published in Polish and English. The exclusion criteria concerned research conducted in the form of case studies and reports.
Results. The final review involved ten preclinical studies published in the years 2006-2014 and seven clinical studies from 2008-2013.
Conclusions. The results of preclinical studies indicated a considerable medical potential of HBOT. An analysis of clinical studies, on the other hand, revealed equivocal and somewhat contradictory final results. It is necessary to conduct further prospective randomised research that could help to evaluate the real therapeutic effect of HBOT in patients after TBI.
Key words: traumatic brain injury, hyperbaric oxygen therapy, research review.

The summary in Polish on end of the publication.

The summary in Russian on end of the publication.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 7 – 26

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

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.1
Pages: 21, figures: 0, tables: 2.

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

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

Urazowe uszkodzenie mózgu (Traumatic brain injury - TBI), definiuje się jako niezwyrodnieniowe, nabyte uszkodzenie mózgu na skutek działania zewnętrznych sił mechanicznych, mogących prowadzić do stałego lub czasowego upośledzenia funkcji poznawczych, sensomotorycznych i psycho-społecznych, z towarzyszącymi zaburzeniami świadomości [1]. TBI jest powszechnym problemem opieki zdrowotnej. Przegląd badań epidemiologicznych przeprowadzonych w Europie ukazuje, iż częstość hospitalizacji wynosi 235 na 100 tys [2]. Ponadto, według metaanalizy Frost i wsp. [3] 2600 przebadanych dorosłych na 25 tys., w przeszłości przebyło uraz mózgu. Należy zaobserwować, iż zapadalność na omawiane zjawisko szacuje się jedynie na podstawie przypadków hospitalizowanych, nie biorąc pod uwagę osób poszkodowanych, którzy nie zgłaszają się do służby zdrowia. Zatem można sugerować, iż rzeczywista zapadalność prawdopodobnie może być kilkakrotnie większa, aniżeli się podaje.

Rozproszone niszczenie dróg aksonalnych i małych naczyń krwionośnych (Diffuse axonal injury - DAI) jest jedną z najczęściej występujących pierwotnych patologii związanej z TBI. Dominującymi objawami są zaburzenia poznawcze obejmujące głównie funkcje pamięci, uwagi, szybkości przetwarzania informacji i wykonawcze. Wszystkie zlokalizowane w różnych obszarach mózgu. Rozproszony charakter obrażeń w TBI jest trudny do wykrycia za pomocą powszechnych metod neuroobrazowania tj. tomografii komputerowej (Computed Tomography – CT) i rezonansu magnetycznego (Magnetic Resonance Imaging – MRi), dlatego w dużym stopniu do wykrycia zaburzeń wykorzystuje się testy zaburzeń funkcji poznawczych i jakości życia [4,5]. Patologiami wtórnymi TBI są m.in. niedokrwienie, łagodny obrzęk i inne procesy zapalne zakończone upośledzeniem procesów regeneracyjnych, spowodowane rosnącą hipoksją tkanek [5]. Niedokrwienie jest główną przyczyną wtórnego uszkodzenia mózgu w TBI i śmierci w następstwie ciężkiego uszkodzenia [6]. Zaburzenia w dystrybucji O_2 do tkanek mózgowych powoduje konwersję metabolizmu tlenowego do beztlenowego [7].

Metabolizm beztlenowy skutkuje

INTRODUCTION

Traumatic brain injury (TBI) is defined as non-degenerative acquired brain damage due to external mechanical forces, which may lead to permanent or momentary impairment of cognitive, sensorimotor and psychosocial functions with accompanying consciousness disorders [1]. TBI is a common health care issue. A review of epidemiological studies carried out in Europe indicates that the hospitalisation rate in relation to TBI amounts to 235 out of 100 thousand cases. [2] Moreover, according to a meta-analysis by Frost et al. [3], 2600 out of 25 thousand examined adults had suffered from a brain injury in the past. It should be noted that the incidence of the discussed disorder is estimated only on the basis of hospitalised cases, without considering the injured that failed to report to the health services. Thus, it may suggest that the actual incidence may in fact be several times higher.

Diffuse axonal injury (DAI) is one of the most frequent primary pathologies connected with TBI. The dominant symptoms comprise cognitive disorders, mainly involving the functions of memory, focus, information processing rate and executive functions. All of them are localised in various brain areas. The dispersed nature of injuries in TBI is difficult to detect with the common neuroimaging methods, i.e. Computer Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI), that is why such disorders are commonly detected with cognitive impairment and quality of life tests [4,5]. Secondary pathologies of TBI include ischaemia, mild oedema and other inflammatory processes resulting in an impairment of regenerative processes caused by growing tissue hypoxia [5].

Ischaemia is the main reason for secondary brain damage in TBI with death being a potential consequence of severe damage [6]. Disturbances in O_2 distribution to cerebral tissues cause a conversion from oxygen metabolism to anaerobic metabolism [7]. Anaerobic metabolism results in acidosis and exhaustion of cellular energy reserves. The demand of energy production is no longer satisfied, cerebral cells lose their ability to maintain ion homeostasis, which leads to an increased intracellular concentration of calcium [8]. The combination of cellular acidosis and an excess concentration of calcium activate intracellular processes, causing the occurrence

kwasicą i wyczerpaniem komórkowych rezerw energetycznych. Zapotrzebowania na produkcję energii nie są już spełniane, komórki mózgowe tracą zdolność do utrzymania homeostazy jonowej co powoduje zwiększenie stężenia wewnątrzkomórkowego wapnia [8]. Połączenie kwasicy komórkowej i nadmiernego stężenia wapnia aktywuje wewnątrzkomórkowe procesy, prowadzące do powstania wolnych rodników tlenowych uszkadzających m.in. błony komórkowe [9]. Wysoki poziom wapnia prowadzi również do jego absorbcji do mitochondriów, prowadząc do upośledzenia fosforylacji ATP i dalszego spadku wydolności metabolizmu tlenowego [10]. Podczas wczesnej fazy uszkodzenia, pomimo zwiększonych potrzeb energetycznych tkanki mózgowej, podaż tlenu oraz jego dyfuzja do tkanek zmniejszają się [11,12].

Hiperbaryczna terapia tlenowa (Hyperbaric oxygen therapy - HBOT) jest metodą inhalacji pacjenta 100% tlenem o podwyższonym ciśnieniu, w specjalistycznie skonstruowanej komorze leczniczej. Ciśnienie wywierane podczas ekspozycji jest wyrażone sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia panującego w komorze (ATA - atmosphere absolute) [13]. Uznaje się, że powinno wynosić co najmniej 1,4 ATA. Za najbardziej efektywną terapeutycznie dawkę uważa się 2.4 – 3.0 ATA [14,15]. Interwencja HBOT przyczynia się do znacznego wzrostu prężności tlenu we krwi. Fizyczne rozpuszczenie jest 20 razy większe niż w warunkach normobarycznych. Tlen rozpuszczony w osoczu może być sprawniej wykorzystywany przez tkanki, niż związany z hemoglobiną, pomimo nieobecności erytrocytów [16]. Procesy te mogą znacznie zwiększyć zasięg dyfuzji tlenu z naczyń włosowatych do otaczających niedotlenionych komórek, usprawniając ich metabolizm [17-19].

Wytyczne do kwalifikacji pacjentów na leczenie w komorze hiperbarycznej w Polsce wyznacza Narodowy Fundusz Zdrowia, w oparciu o listę wskazań Europejskiego Towarzystwa Hiperbarycznego i Towarzystwa Medycyny Podwodnej. Wśród oficjalnie leczonych jednostek chorobowych nie uwzględniono schorzeń neurologicznych i psychiatrycznych z powodu barku dostatecznej liczby wiarygodnych, randomizowanych, prospektywnych badań, potwierdzających skuteczność metody [20]. Aktualnie trwają intensywne badania kliniczne oceniające

of oxygen free radicals which go on to damage, among other things, the cellular membranes [9]. High calcium levels also leads to its absorption into mitochondria causing an impairment in ATP phosphorylation and further decrease in oxygen metabolism [10]. In the early phase, despite an elevated energy demand of cerebral tissues, the oxygen supply and its diffusion to tissues become reduced [11,12].

Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) consists of a patient's inhalation of 100% oxygen whilst inside a specially constructed pressure treatment chamber. The pressure exerted during an exposure is expressed with the sum of atmospheric pressure and the pressure within the chamber (ATA - atmosphere absolute) [13]. It has been established that it should reach at least 1.4 ATA. However, the dose believed to be more therapeutically effective ranges from 2.4 to 3.0 ATA [14,15]. An HBOT intervention contributes to a significant increase in oxygen pressure in the blood. Its physical solubility is then 20 times higher as compared with normal pressure conditions. Oxygen that is dissolved in the blood plasma may be used by tissues in a more efficient manner than the oxygen bonded with haemoglobin despite the absence of erythrocites [16]. Such processes may considerably increase the extent of oxygen diffusion from capillary vessels into the neighbouring hypoxic cells, thus facilitating their metabolism [17-19].

The guidelines, regarding patient qualification for treatment in a hyperbaric chamber, are defined by the National Health Fund based on a list of recommendations of the European Society of Hyperbaric Medicine and the Society of Underwater and Hyperbaric Medicine. The list of officially treated medical conditions does not encompass neurological and psychiatric ailments due to a lack of a sufficient number of reliable randomised prospective researches confirming efficacy of the method [20]. Currently, intense clinical studies are conducted with the aim of evaluating the safety and efficacy of HBOT in relation to brain injuries and psychological disorders.

The first clinical observation that presented a therapeutic result in patients with TBI after HBOT was carried out by Fasano et al. 50 years ago [21]. At present, HBOT is believed to have a neuroprotective function through: the facilitation of metabolic processes in the brain [22,23], an increase in the permeability of the

bezpieczeństwo oraz efektywność HBOT w zakresie urazów mózgu, zaburzeń psychicznych.

Pierwszą obserwację kliniczną w wyniku, której odnotowano efekt leczniczy u pacjentów z TBI po zastosowaniu HBOT przeprowadził 50 lat temu Fasano i wsp. [21]. Obecnie uważa się, że HBOT ma działanie neuroprotekcyjne poprzez: usprawnianie procesów metabolicznych w mózgu [22,23], wzrost przepuszczalności bariery krew-mózg, minimalizację obrzęku [24] zmniejszenie ciśnienia śródczaszkowego [25], tłumienie reakcji prozapalnych [26] oraz zapobieganie apoptozie komórkowej [27,28]. Bezpieczeństwo HBOT przetestowano we wszystkich grupach wiekowych i płci, w tym kobiety ciężarne [29] i noworodki [30]. Metodę uznaje się za stosunkowo bezpieczną. Najczęstszym powikłaniem HBOT jest ból ucha lub dyskomfort wywołany wyrównywanym ciśnieniem w uchu środkowym i dotyczy około 17%. Do statystycznie rzadszych komplikacji 3.8% zaliczamy urazy barotraumatyczne m.in. ucha środkowego, zatok przynosowych, ucha wewnętrznego, płuc oraz zębów [31]. Problemem jest także klaustrofobia, występująca u jednego na 50 chorych poddawanych HBOT [32]. Kilkakrotna interwencja, ponad 20 zabiegów może wywołać czasowe pogorszenie widzenia na odległość, które ustępuje po 6-8 tygodniach od zakończenia leczenia. Najczęściej dotyczy pacjentów z krótkowzrocznością.

W badaniach zaobserwowano, że nasilenie schorzenia występuje przy stosowaniu ciśnienia powyżej 2 ATA [33,34]. Do czasowych, nieswoistych objawów ustępujących samoistnie po 4-6 tygodniach od zakończenia HBOT można zaliczyć również bóle brzucha, nudności, wymioty, biegunki, uczucie mrowienia i drętwienia [32,35].

CEL

Przegląd literatury w poszukiwaniu badań przedklinicznych oraz klinicznych oceniających skuteczność metody HBOT w procesie leczniczym TBI.

MATERIAŁ I METODY

Posługując się słowami kluczami hiperbaryczna terapia tlenowa

blood-brain barrier, reduction of the oedema [24], decrease in intracranial pressure [25], suppression of proinflammatory reactions [26] and prevention of cell apoptosis [27,28]. The safety of HBOT has been tested with regard to all age groups and both sexes, including pregnant women [29] and neonates [30]. The method is perceived as relatively safe. The most common HBOT-related complication is an earache or a discomfort induced by pressure compensation in the middle ear, and concerns approximately 17% of cases. Statistically less frequent complications, 3.8%, include barotraumatic injuries of the middle ear, nasal sinuses, internal ear, lungs or teeth [31]. Another issue is claustrophobia, occurring in one out of 50 patients subjected to HBOT [32]. In a repeatable treatment of over 20 exposures it is possible to observe temporary impairment of distance vision, which yields after 6-8 weeks from treatment completion. This mainly concerns patients with myopia. During the research it was observed that the impairment was intensified when applying pressure above 2 ATA [33,34]. The temporary, non-specific symptoms, which diminished naturally after 4-6 weeks from HBOT completion also included abdominal pain, nausea, vomiting, diarrhoea, tingling and stiffening sensations [32,35].

OBJECTIVE

The objective of the study was to conduct a review of available literature aimed at finding preclinical and clinical research assessing the efficacy of HBOT in the therapeutic process related to TBI.

MATERIAL AND METHODS

The following electronic full-text bibliographic databases were searched by entering the following key words hyperbaric oxygen therapy and traumatic brain injury: EBSCO host Web, Wiley Online Library, Springer Link, Science Direct and Medline. The inclusion criteria encompassed preclinical and clinical control and observatory examinations verifying the therapeutic efficacy of HBOT at various TBI stages and intensification levels in adults. The selected studies used various HBOT protocols and methods to evaluate its health effects. The evaluation was concerned only with articles published in Polish and English in full-

(hyperbaric oxygen therapy), urazowe uszkodzenie mózgu (traumatic brain injury) przeszukano elektroniczne pełnotekstowe bazy bibliograficzne: EBSCO host Web, Wiley Online Library, Springer Link, Science Direct oraz Medline. Za kryteria włączenia uwzględniono badania przedkliniczne, kontrolne badania kliniczne i obserwacyjne weryfikujące efektywność leczniczą HBOT w różnych stadiach i stopniach nasilenia TBI u dorosłych. Wybierane badania mogły wykorzystywać dowolne protokoły HBOT oraz metody oceniające skutki zdrowotne. Ocenie poddano jedynie artykuły opublikowane w języku polskim i angielskim, w pełnotekstowej wersji, w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, w latach 2006-2014. Za kryteria wyłączenia natomiast uznano projekty badawcze w formie studium przypadków i raportów. Analiza efektywności klinicznej HBOT w wyodrębnionych badaniach zebrano według zasady PICO, która odnosi się do czterech elementów tj. populacja, interwencja, komparator oraz punk końcowy.

WYNIKI

Ostatecznie do analizy zakwalifiko-wano dziewięć badań przedklinicznych, opublikowanych w latach 2006-2014 oraz siedem klinicznych w latach 2008-2013.

DZIAŁANIE HBOT U ZWIERZĄT PO TBI

Opierając się na najnowszych badaniach eksperymentalnych, dostrzegamy istotność wpływu procesu zapalnego na wtórne uszkodzenie mózgu po TBI. Funkcjonowanie HBOT nie jest do końca poznane, jest to proces wciąż kontrowersyjny w gronie naukowym. Wyróżniamy kilka zbadanych czynników odgrywających znamienną rolę w HBOT, są to: neutrofile, metaloproteinazy (MMP), kaspazy i czynnik indukowany niedotlenieniem 1-α (HIF-1 α). Opierając się na pracy Vlodavsky i wsp. możemy zwrócić uwagę na ważną rolę MMP. MMPs biorą udział w patologicznym i fizjologicznym remodelingu tkanek. Dodatkowo MMP-2 i -9 są zaangażowane w procesy zwyrodnieniowe, naprawcze tkanek, transdukcję sygnału, przebudowę zmienionych procesem zapalnym obszarów. Aktywność MMP regulowana jest za pomocą inhibitorów tkankowych metaloproteinaz (TIMPs).

text versions in reviewed magazines with international coverage from the years 2006-2014. The applied exclusion criteria, on the other, concerned researches conducted in the form of case studies and reports. An analysis of clinical effectiveness of HBOT in the selected studies was conducted in accordance with the PICO principle which refers to four elements, i.e. population, intervention, comparator and outcome.

RESULTS

The final review involved ten preclinical studies published in the years 2006-2014 and seven clinical studies from 2008-2013.

HBOT IN ANIMALS AFTER TBI

Based on the most recent experimental research we see the significance of the effect of an inflammatory process on secondary brain damage resulting from TBI. The functioning of HBOT has not been completely recognised; the process still raises some controversies in scientific circles. We distinguish several factors which play a crucial role in HBOT, i.e.: neutrophils, metalloproteinases (MMPs), caspases and hypoxia-inducible factor 1-α (HIF-1 α). Based on the work by Vlodavsky et al. we may note the important role of MMPs. MMPs take part in pathological and physiological remodelling of tissues. Additionally, MMPs-2 and -9 are involved in degenerative and repair processes in tissues, signal transduction, reconstruction of areas affected by an inflammatory process. MMP activity is regulated with tissue inhibitors of metalloproteinases (TIMPs).

After an injury Neutrophils lead to an occlusion of microcirculation, releasing oxygen free radicals, cytolitic proteases and proinflammatory cytokines. An inflammatory infiltration composed of myeloperoxidases-neutrophils was larger in animals treated with HBOT as compared with those that did not receive treatment. Statistical significance was visible in the quantitative reduction of MMPs-9 [37]. Some of the experimental data indicated HBOT's role in the reduction in the level of caspases 9 and 3 due to mitochondrial protective mechanisms. Caspases initiate and manage the process of apoptosis, which is significant with regard to neuroprotection

Po kontuzji napływ komórek zapalnych wzmacnia aktywność MMP [36,37]. Neutrofile prowadzą do okluzji mikrokrążenia, uwalniając wolne rodniki tlenowe, cytolityczne proteazy i cytokiny prozapalne. Naciek zapalny złożony z mieloperoksydaz - neutrofili był większy u leczonych zwierząt HBOT w porównaniu do nieleczonych. Statystyczną istotność wykazano w ilościowym zmniejszeniu MMP-9 [37]. Niektóre z doświadczalnychdanych wykazały rolę HBOT w zmniejszeniu poziomu kaspazy 9 i 3 dzięki mitochondrialnym mechanizmom ochronnym. Kaspazy inicjują i przeprowadzają proces apoptozy, co odgrywa istotne znaczenie neuroprotekcyjne w obszarze półcienia (pen umbra). Z jednej strony uszkodzenie mózgu prowadzi do aktywacji mikrogleju, co zwiększa prozapalną odpowiedź Modulacja reaktywnego mikrogleju może być stosowana w leczeniu neurologicznych schorzeń. Badania na szczurach wykazały, że HBOT tłumiło ekspresję TNF-α, apoptozę neuronów i aktywację mikrogleju. Nawet 8h po uszkodzeniu mózgu, HBOT utrzymuję efekt terapeutyczny [19].

Badania na 500 szczurach wykazały, że HBOT zmniejsza apoptozę i ekspresję HIF 1 α. Zmniejszony poziom apoptozy może być związany ze spadkiem wewnątrzkomórkowego wapnia, poprawą bilansu energetycznego, zwiększoną produkcją przeciwutleniacza [39]. Dodatkowo badania dowodzą pozytywny wpływ na utratę pamięci wywołaną przez TBI. HBOT powoduję zwężenie naczyń krwionośnych i zmniejszenie przepływu krwi w mózgu (CBF), co wpływa na ograniczenie obrzęku. Yang Y et al. wyraził to przedstawiając wskaźnik- Evans Blue (EB) i mierząc zawartość wody w mózgu [40].

Za pomocą MR z kontrastem (MRI-DCM), w połączeniu z obrazowaniem dyfuzji masy (DWI) w badaniu na królikach po TBI, zobrazowano zmiany zachodzące w uszkodzonej tkance, co dostarcza cennych informacji na temat klinicznego zastosowania HBOT. Liczba punktów z weterynaryjnej skali śpiączek (VCS) była większa w grupie HBOT + TBI, niż TBI określanych w ciągu 30 dni, co sugeruje pozytywny efekt HBOT. Skala VCS ocenia motorykę ciała, oczu i oddychanie, tym samym wykazując podobieństwo do skali Glasgow [41]. Z drugiej strony, naukowcy badali efekt leczniczy HBOT u szczurów po jednostronnej ablacji, poprzez wzrost neuroplastyczności, która wykazała istotność statystyczną, co można przełożyć na poprawę funkcji motorycznych(napięcie mięśni i koordynację)

in the penumbra. On the one an increase in inflammatory cells enhances MMP activity [36,37]. Neutrophils lead to an occlusion of microcirculation, releasing oxygen free radicals, cytolitic proteases and proinflammatory cytokines. An inflammatory infiltration composed of myeloperoxidases-neutrophils was larger in animals treated with HBOT as compared with those that did not receive treatment. Statistical significance was visible in the quantitative reduction of MMPs-9 [37].

Some of the experimental data indicated HBOT's role in the reduction in the level of caspases 9 and 3 due to mitochondrial protective mechanisms. Caspases initiate and manage the process of apoptosis, which is significant with regard to neuroprotection in the penumbra. On the one hand, brain damage leads to an activation of microglia, which intensifies the proinflammatory response. The modulation of reactive microglia may be applied in treating neurological conditions. Research on rats indicated that HBOT contained the expression of TNF-α, neuron apoptosis and microglia activation. Even 8h after a brain injury HBOT maintains its therapeutic effect. [19]

The research on 500 rats showed that HBOT reduced apoptosis and HIF 1 α expression. A decreased level of apoptosis may be connected with a reduction in intracellular calcium, an improvement in energy balance and an elevated production of antioxidants [39]. Furthermore, the research proves a positive effect on memory loss induced by TBI. HBOT causes stenosis of blood vessels and a decrease in cerebral blood flow (CBF), which results in a reduced oedema. Yang et al. expressed this by introducing the Evans Blue index (EB) and measuring water content in the brain [40]. The authors used MR with contrast (MRI-DCM) combined with diffusion weighted imaging (DWI) in research on rabbits after TBI to depict changes occurring in a damaged tissue, which provided valuable information on clinical application of HBOT.

The number of points in the veterinary coma scale (VCS) was higher in the group HBOT + TBI than with TBI determined within 30 days, which suggests a positive effect of HBOT. The VCS evaluates the motor activity of the body, eyes and respiratory activity, thus indicating a certain similarity to the Glasgow scale [41]. On the other hand, the researchers studied the medicinal effect of HBOT in rats following unilateral ablation through an increase in the neuroplasticity that indicated statistical

u zwierząt, którą zbadano za pomocą Beam walking test i Grip strength test [42].

significance. This increase may be translated into an improvement in motor functions (muscle tone and coordination) in the animals, as examined with the Beam walking test and the Grip strength test [42].

Tab. 1.

Podsumowanie badań przedklinicznych wykorzystujących HBOT po TBI.

Summarised results of preclinical research with the use of HBOT after TBI.

Research	Species	Method	Dosage	Time	End point
Yang et al. (2014)	Rats	After treatment	1.5 ATA for 90 min.	1 once a day, 15 sessions	↑ neurobehavioral functions ↓ neuron apoptosis ↓ *Assay TUNEL*
Wei et al. (2014)	Rabbits	After treatment	2.5 ATA for 60 min.	10 per day, 7 sessions	↑ neurobehavioral functions
Lim et al. (2013)	Rats	After treatment	2.0 ATA for 60 min.	once	↑ neurobehavioral functions ↓ neuron apoptosis ↓ ischemic area
Lin et al. (2012)	Rats	After treatment	2.0 ATA for 60 min.	1 per day, 3 sessions	↑ neurobehavioral functions ↓ ischemic area ↓ *Assay TUNEL*
Brkic et al. (2012)	Rats	After treatment	2.5 ATA for 60 min.	1 per day, 10 sessions	↑ GAP43 and SYP expression ↑ motor functions
Wang et al. (2010)	Rats	After treatment	3.0 ATA for 60 min.	3 or 5 per day, 5 sessions	↑ neurobehavioral functions ↓ *assay TUNEL*
Hu et al. (2010)	Rats	Before treatment	2.5 ATA for 60 min.	1 per day, 8 sessions	↑ neurobehavioral functions ↑ rCBR
Harch et al. (2007)	Rats	After treatment	1.5 ATA for 90 min.	1 per day, 7 sessions	↑ vascular density in hippocampus ↑ cognitive functions
Vlodavsky et al. (2006)	Rats	After treatment	2.8 ATA for 45 min.	2 per day, 3 sessions	↓ *Assay TUNEL*

DZIAŁANIE HBOT U LUDZI PO TBI

Zakwalifikowane badania obejmowały pacjentów z różnymi postaciami TBI; trzy dotyczyły umiarkowanego TBI, kolejne trzy ciężkiego TBI, natomiast do 1 włączano pacjentów bez rozróżnienia TBI. Liczba pacjentów w każdej próbie wynosiła od 20 do 90. Interwencje zastosowano w różnym okresie czasu, po incydencie TBI. Dwa badania oceniały pacjentów będących w ostrym stanie 24-48 h od

HBOT IN ANIMALS AFTER TBI

The qualified studies encompassed patients with various forms of TBI, with three of them being concerned with moderate TBI, another three with severe TBI, and 1 with patients without TBI diversification. The number of patients in each trial ranged from 20 to 90. The interventions were applied after different periods from a TBI incident. Two of the studies evaluated patients in an acute condition 24-48 h

TBI, następne 3 w przewlekłym od 1 miesięcy do 5 lat, natomiast pozostałe nie wyszczególniły informacji na ten temat. Dawki tlenu były bardzo różne w poszczególnych badaniach, wahały się od 1.5 do 2.4 ATA, zaś czas trwania interwencji wynosił od 60 do 90 min. Liczba sprężeń była w jednym przypadku jednorazowa, w pozostałych sytuacjach oscylowała miedzy 20 a 40 zabiegami. Grupa kontrolna w pięciu badaniach miała standardowe leczenia, zaś w pozostałych dwóch zastosowano powietrze do 1.3 ATA. Analiza badań ukazuje, że zainteresowanie zastosowaniem HBOT w leczeniu TBI oparte było na założeniu, że niedotlenienie komórek, obrzęk oraz apoptoza odgrywają znaczącą rolę w patogenezie choroby.

Lin et al. [43] w prospektywnym badaniu oceniał skuteczność metody HBOT, wśród pacjentów z ciężkim TBI będących średnio 27,5 +/- 5,8 dni od urazu. Włączono 44 pacjentów, w tym 22 poddanych było interwencji HBOT w dawce 2,0 ATA przez 90 min., 1 dziennie, przez 20 dni, zaś pozostałe 22 osoby leczono standardowymi procedurami. Efekt końcowy był mierzony skalą Glasgow (Glasgow Coma Scale - GCS) oraz Skalą Wyniku Leczenia Glasgow (Glasgow Outcome Scale - GOS).

Średnie początkowe wyniki GCS w obu grupach, w dniu przyjęcia do szpitala, wynosiły dla grupy badanej 8,0 a dla grupy kontrolnej 7,9. Po przeprowadzeniu standardowych procedur leczniczych, w celu ratowania życia, wskaźnik GCS w obu grupach wzrósł. Grupa badana uzyskała 11,1 zaś kontrolna 10.4 pkt. Po ustabilizowaniu stanu pourazowego pacjentów, rozpoczęto procedurę badawczą. Wyniki końcowe ukazały poprawę w grupie HBOT 13,5 pkt., natomiast w grupie kontrolnej 11.5 pkt. Wykazano korzystny wpływ HBOT na poprawę GCS o istotności statystycznej w wysokości $p<0.05$. Parametry diagnostyczne GOS badane były trzykrotnie w obu grupach. Oceniono i analizowano efekty końcowe, bezpośrednio po interwencji HBOT, po trzech oraz sześciu miesiącach od TBI. W ocenie trzeciego miesiąca mimo, że zaobserwowano pewną poprawę w grupie badanej względem kontrolnej, wyniki końcowe nie były statystycznie istotne. W szóstym miesiącu 12 pacjentów uzyskało poprawę w grupie HBOT a 9 w grupie bez interwencji, jednak różnice były statystycznie nieistotne $p>0,05$. W retrospektywnej analizie wykonanej przez Sahni et al.[44] przyjęto hipotezę, że HBOT jako metoda wspomagająca leczenie standardowe u pacjentów z TBI, może

from TBI occurrence, another 3 examinations involved patients in a chronic condition maintained from 1 month to 5 years, whereas the rest lacked information regarding the patients' condition. Oxygen dosage was largely diversified in particular examinations and reached from 1.5 to 2.4 ATA, with an intervention time ranging between 60 to 90 min. In one instance only one compression was carried out, whereas in the remaining cases the number of compressions oscillated around 20 to 40 procedures. The control group received standard treatment during five procedures, whereas the remaining two procedures involved the use of air breathed at a pressure of 1.3 ATA. The analysis of the conducted studies revealed that the interest in the application of HBOT in treating TBI was based on an assumption that cellular hypoxia, oedema and apoptosis played a significant role in its pathogenesis.

Lin et al. [43] evaluated in a prospective study the efficiency of the HBOT method among patients with severe TBI, on average 27.5 +/- 5.8 days from the injury. The research comprised 44 patients, with 22 of them subjected to HBOT intervention of 2.0 ATA for the period of 90 min, once a day, for 20 days, whereas the remaining 22 patients were treated with the use of standard procedures. The end result was measured with the Glasgow Coma Scale (GCS) and the Glasgow Outcome Scale (GOS). The initial means according to the GCS for both groups on the day of the patients' admittance to hospital reached 8.0 for the researched group and 7.9 for the control group. After carrying out standard life-saving procedures, the GCS index revealed an increase in both groups.

The result for the researched group was 11.1, whereas the same index for the control group amounted to 10.4 points. The research procedure was initiated after the stabilisation of post-injury condition in patients. Final results indicated an improvement in the HBOT group to 13.5 points, whereas the index value of the control group was equal to 11.5 points.

Thus, a favourable effect of HBOT on GCS improvement was noted, with the statistical significance of $p<0.05$. The diagnostic parameters of GOS, on the other hand, were examined three times in both groups.

The end results were evaluated and analysed immediately after HBOT intervention, as well as three and six months after TBI. In the evaluation conducted after three months, despite a certain improvement observed in the

poprawić punkty końcowe. W badaniu uczestniczyło 40 pacjentów z ciężkim TBI, którzy w 10% byli < 1 miesiąca od urazu, w 65% od 1-6 miesięcy a w 25% więcej lub równe 6 miesięcy. Grupa badana (n=20) objęta była standardową opieką oraz leczeniem HBOT 1.5 ATA przez 60 min., przez 30 dni, natomiast grupa kontrolna (n=20) otrzymywała jedynie podstawową opiekę. Przedział wiekowy u 80% pacjentów wahał się w zakresie 15-50 lat, w tym 65-80% stanowili mężczyźni. Obie grupy przebadano diagnostycznie wykorzystując Skalę Niewydolności Ruchowej (Disability Rating Scale - DRS), GCS oraz Skalę Rancho Los Amigos (Rancho Los Amigos Scale - RLAS). Analiza rezultatów końcowych DRS wykazała maksymalną poprawę i skuteczność w grupie badanej (przed 45% po 5%) niż w kontrolnej (przed 45% po 25%) wśród pacjentów w stanie wegetatywnym.

Wartości średnie DRS zmniejszyły się z 23,75% na 18,85% dla grupy badanej, natomiast dla kontrolnej wynik zredukował się z 23,4% do 21.65%. RLAS w grupie HBOT przed rozpoczęciem leczenia, 95% pacjentów uzyskało równe bądź poniżej 3 pkt. Wynik końcowy uległ zmianie do 35% po interwencji. Grupa kontrolna miała podobny wynik przed leczeniem 90%, jednak po otrzymała znacznie słabsze rezultaty 60%. Autorzy badania przeanalizowali skuteczność leczniczą w obu grupach w oparciu o czas od TBI. Stwierdzono, iż w grupie badanej poprawę maksymalną można uzyskać, gdy HBOT rozpocznie się w ciągu 1-6 miesięcy (DRS: 23.3 – 17.25, RLAS: 2.08-4.00) w porównaniu do < 1 miesiąca (DRS: 26.0 – 22,4, RLAS:1.6 – 3.4) oraz więcej lub równe 6 miesięcy (DRS: 22,6 - 19,0, RLAS: 2.3 - 2.6). Istotne polepszenie było również w grupie kontrolnej wśród pacjentów 1-6 miesięcy od incydentu. Analizując w ramach tej kategorii pacjenci w grupie HBOT zdobyli względem grupy kontrolnej pozytywniejszy efekt leczniczy. Mianowicie doszło do istotnego wzrostu średnich wartości RLAS w grupie badanej z 2.08 do 4.00 w porównaniu do kontrolnej z 1.69 do 2.69 oraz do spadku wyników DRS w badanej z 23.3 do 17.25 w stosunku do kontrolnej 23.38 do 21.92.

Badanie Boussi-Gross et al. [45] uznać można za jedno z najbardziej aktualnych i wiarygodnych doniesień naukowych, ukazujących istotnie statystyczne wyniki metody leczniczej HBOT. Prospektywna, randomizowana analiza dotyczyła 56 pacjentów po

researched group in relation to the control group, the end results were not statistically significant. In the sixth month, 12 patients from the HBOT group and 9 patients from the group without an intervention indicated an improvement; however, the differences were not statistically significant with In the retrospective analysis performed by Sahni et al. [44] a hypothesis was adopted stating that HBOT as a method supporting standard treatment in patients with TBI may improve the end points. The research included 40 patients with severe TBI, with 10% of them < 1 month from the injury, 65% between 1-6 months, and 25% 6 months or more from the time of injury. The researched group (n=20) was provided with standard care and HBOT treatment of 1.5. ATA for 60 min, once a day, for 30 days, whereas the control group (n=20) received only standard care. The age difference among 80% of patients reached 15-50 years, and 65-80% of them were men. Both groups were subjected to diagnostic examinations with the use of the Disability Rating Scale (DRS), GCS and Rancho Los Amigos Scale (RLAS). The analysis of the end results of the DRS indicated maximum improvement and effectiveness in the researched group (before 45%, after 5%) as compared with the control group (before 45%, after 25%) among patients in a vegetative state.

The mean DRS values decreased from 23.75% to 18.85% for the researched group, whereas in the control group the result was reduced from 23.4% to 21.65%. In the RLAS in the group subjected to HBOT before treatment commencement, 95% of patients obtained the exact result of 3 points or less. The end result changed to 35% after the intervention.

The control group had a similar result before the treatment, 90%, however its results after the received care were significantly lower - 60%. The authors of the study analysed the therapeutic efficacy in both groups based on the time from the TBI. It was observed that in the researched groups the maximum improvement was accomplished with HBOT being implemented within 1-6 months (DRS: 23.3 – 17.25, RLAS: 2.08-4.00) as opposed to < 1 month (DRS: 26.0 – 22.4, RLAS: 1.6 – 3.4) and 6 months or more (DRS: 22.6 - 19.0, RLAS: 2.3 - 2.6).

In the control group, a significant improvement was also noted among patients 1-6 months after their incident. However, an analysis of the patients of the same category in

umiarkowanym TBI oraz z długotrwałym zespołem powstrząsowym (post-concussion syndrome - PCS), którzy byli 1-5 lat od zdarzenia. Pacjenci w grupie badanej z interwencją HBOT (n=36) o dawce 1.5 ATA przez 60 min., 1 dziennie przez 40 dni, byli oceniani dwukrotnie przed i po leczeniu. W grupie kontrolnej dokonano trzykrotnej analizy przed i po 2 miesiącach leczenia standardowego (n=31) oraz po kolejnych 2 miesiącach, po włączeniu HBOT, stosując identyczną dawkę jak w grupie badanej (n=24). W teście Mindstreams wykorzystano do oceny poznawczej jakość życia (Quality of life - QOL), która została zweryfikowana przez EQ-5D oraz EQ-VAS, zaś zmiany aktywności mózgu badano poprzez tomografię emisyjną pojedynczych fotonów (Single Photon Emission Computed Tomography - SPECT). W grupie badanej, wskaźniki poznawcze wzrosły dla szybkości przetwarzania informacji (Information Processing Speed) o 4.20 (p<0.0001), uwagi (Attention) o 3.26 (p<0.005), zapamiętywania (Memory) o 4.13 (p<0.0005) i funkcji wykonawczych (Executive Functions) o 3.72 (p<0.0005). W grupie kontrolnej nie odnotowano znacznej poprawy: Information Processing Speed 0.53 (p=0.298), Attention 0.33 (p=0.368), Memory 0.74 (p=0.223) oraz Executive Functions 0.54 (p= 0.295). Natomiast grupa kontrolna, która poddana była po upływie 2 miesięcy zabiegom HBOT również uzyskała zadawalające wyniki: Information Processing Speed 1.98 (p<0.05), Attention 2.29 (p<0.05), Memory 3.21 (p<0.005), Executive Functions 2.26 (p<0.05). Wskaźnik EQ-5D w grupie badanej uległ poprawie o 7.41 (p<0.0001). Zbliżony wynik 6.17 (p<0.0001) otrzymała grupa kontrolna po HBOT. Jak oczekiwano, nie było istotnego polepszenia w grupie kontrolnej 2.60 (p<0.01). Wyniki końcowe EQ-VAS także poprawiły się znacznie po HBOT, zarówno w grupie badanej 4.86 (p<0.0001) jak i kontrolnej po HBOT 4.79 (p<0.0001), podczas gdy nie uzyskano żadnej istotnej poprawy w grupie kontrolnej 0.32 (p<0.373). Zatem po analizie wyników można wywnioskować, iż badanie wykazało usprawnienie funkcji poznawczych i QOL w obu grupach poddanych HBOT. W grupie kontrolnej natomiast nie zaobserwowano takich zmian. Dodatkowo SPECT przedstawił podwyższoną aktywność mózgu, ukazując dobrą zgodność z ulepszeniem czynności poznawczych.

the HBOT group showed a more positive therapeutic effect as compared to the control group. Namely, a significant increase in the mean values of RLAS were noted in the researched group from 2.08 to 4.00, as compared with the control group's values amounting from 1.69 to2.69, and a decrease in the DRS results in the researched group from 23.3 to 17.25 in relation to the change in the values in the control group from 23.38 to 21.92.

A study by Boussi-Gross et al. [45] may be perceived as one of the most current and reliable scientific reports revealing statistically significant results of HBOT. This prospective, randomised analysis involved 56 patients after moderate TBI and a long-lasting post-concussion syndrome (PCS), being 1-5 years from the incident. The patients in the researched groups with HBOT intervention (n=36) with the dose of 1.5 ATA for 60 min, once a day, for 40 days were evaluated twice, before and after the treatment. Three analyses were carried out for the control group: before and after 2 months from the standard treatment (n=31) as well as after another 2 months from the implementation of HBOT with an identical dosage as in the researched group (n=24).

The applied *Mindstreams* test used in the cognitive evaluation measured the Quality of Life (QOL) verified with *EQ-5D* and *EQ-VAS*, whereas changes in brain activity were examined with Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT). In the researched group the cognitive indexes showed an increase with regard to Information Processing Speed by 4.20 (p<0.0001), Attention by 3.26 (p<0.005), Memory by 4.13 (p<0.0005) and Executive Functions by 3.72 (p<0.0005). No significant improvement was observed in the control group: Information Processing Speed 0.53 (p=0.298), Attention 0.33 (p=0.368), Memory 0.74 (p=0.223) and Executive Functions 0.54 (p= 0.295). However, the control group that was subjected to HBOT after the lapse of 2 months also presented satisfactory results: Information Processing Speed 1.98 (p<0.05), Attention 2.29 (p<0.05), Memory 3.21 (p<0.005), Executive Functions 2.26 (p<0.05). The EQ-5D index in the researched group was improved by 7.41 (*p<0.0001).* A similar result of 6.17 (p<0.0001) was obtained by the control group after HBOT. As expected, there was no significant improvement in the pre-HBOT control group 2.60 (p<0.01).

Podobne badanie stworzył Walker et al. [46], którego celem była analiza efektu po tygodniu interwencji HBOT na zaburzone funkcje psychomotoryczne i poznawcze, wśród żołnierzy, po umiarkowanym TBI z PCS utrzymującym się przez 3-36 miesięcy. W randomizowanym, podwójnie ślepym badaniu, przydzielono losowo 60 osób do trzech grup. Dwie z nich poddane były zabiegom HBOT, jednej grupie dawkowano 2.0 ATA przez 60 min, 1 dziennie, przez 40 dni, a drugiej 1.5 ATA przez 60 min., 1 dziennie, przez 40 dni. Trzecia natomiast miała sprzężone powietrze. Wyniki końcowe mierzono, między innymi, przy użyciu komputerowej posturografii (równowaga), testu neuropsychologicznego GPT, a także testów neuropsychologicznych w celu zbadania funkcji poznawczych. Badania wykonano przed przystąpieniem do eksperymentu oraz tydzień po HBOT. Ostatecznie otrzymano niedostateczny poziom istotności 5% we wszystkich metodach diagnostycznych. Ekspozycja w obu grupach HBOT, w porównaniu z kontrolną, nie wykazała korzyści.

Wolf et al. [47] przeprowadził podwójnie ślepe, randomizowane, prospektywne badania na 50 członkach służby wojskowej z umiarkowanym TBI. Grupie badanej (n=25) zastosowano leczenie HBOT 1.5 ATA przez 90 min., 1 dziennie, przez 30 dni, natomiast kontrolnej (n=25) zastosowano powietrze 1.3 ATA przez 90 min., 1 dziennie, przez 30 dni. Efekty końcowe mierzono Posttraumatic Stress Disorder Checklist - Military Version (PCL-M) oraz Immediate Post-Concussion Assessment and CognitiveTest (ImPACT) przed interwencją i po 6 tyg. od zakończenia leczenia. Testy PCL-M (t= -0.205, p = 0.84) i ImPACT (t= -0.943, p = 0.35) ostatecznie nie wykazały istotnych statystycznie różnic pomiędzy obiema grupami. PCL-M and ImPACT natomiast wykazały znaczną poprawę zarówno w grupie badanej (t = 3,90, p = 0,001) i kontrolnej (t = 3.76, p = 0.001). Wyniki badania sugerować mogą, że zastosowanie HBOT z danym protokołem nie ma wpływu na objawy po umiarkowanym TBI.

Aktualnie istnieją dwa badania Rockswold et al. [48,49], których celem była analiza skuteczności leczniczej metod HBOT oraz normobaryczej hiperoksji (Normobaric Hyperoxia - NBH). Badano metabolizm komórkowy w mózgu, przy pomocy parametrów: mean brain tissue PO2; CBF; cerebral metabolic rate of oxygen (CMRO2);

The end results for EQ-VAS were also significantly improved after HBOT, both in the researched group 4.86 (p<0.0001) and the control group after HBOT 4.79 (p<0.0001), whereas no significant improvement was achieved in the pre-HBOT control group 0.32 (p<0.373). Thus, after an analysis of results we may conclude that the examination indicated facilitation of cognitive functions and QOL in both groups subjected to HBOT. However, no such changes were observed in the control group. Additionally, SPECT revealed an increased brain activity, thus indicating good compliance with an improvement of cognitive functions.

A similar researched was undertaken by Walker et al. [46] whose aim consisted in an effect analysis one week after HBOT intervention on the disturbed psychomotor and cognitive functions among soldiers after moderate TBI with PCS lasting 3-36 months. In a randomised double blind study 60 subjects were assigned to three groups. Two of them were subjected to HBOT, one with the dose of 2.0 ATA for 60 min, once a day, for 40 days, and the second with 1.5 ATA for 60 min, once a day, for 40 days. The third group was administered compressed air. The end results were measured with methods including computerized posturography (balance), grooved pegboard (fine motor speed/dexterity), and multiple neuropsychological tests of cognitive performance, collected pre-intervention and 1-week post-intervention.

The thus obtained values indicated an insufficient level of significance of 5% in all of the applied diagnostic methods. The exposure in both HBOT groups showed no favourable effects as compared with the control group. Wolf et al. [47] conducted a double blind randomised prospective study on 50 members of the military service with moderate TBI. The researched group (n=25) was subjected to HBOT of 1.5 ATA for 90 min, once a day, for 30 days, whereas the control group (n=25) was subjected to air exposures at 1.3 ATA for 90 min, once a day, for 30 days. The end results were measured with the Post-traumatic Stress Disorder Checklist - Military Version (PCL-M) and the Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Test (ImPACT) before the intervention and 6 weeks after treatment completion. The PCL-M (t= -0.205, p = 0.84) and ImPACT (t= -0.943, p = 0.35) tests in the end showed no statistically

microdialysate lactate; microdialysate lactate/pyruvate (L/P) ratio; microdialysate glicerol. Oceniono ciśnienie wewnątrzczaszkowe (intracranial pressure - ICP) oraz zmierzono toksyczność tlenu przy pomocy markerów ventricular colony stimulating factor (CSF) F2-isoprostane, bronchial alveolar lavage interleukin - 6 (BAL IL-6), BAL IL-8. W pierwszym badaniu ocenie poddano pacjentów z ciężkim TBI, w ostrym stadium choroby, 24 h od zdarzenia. 69 osób ze średnią wartością GCS 5,8 pkt. losowo przydzielono do trzech grup. Pierwsza grupa (n=26) leczona była HBOT dawką 1.5 ATA przez 60 min, 1 dziennie, przez 3 dni. Druga grupa (n=21) poddana była leczeniu NBH, w której dawkowano przez 3 godz. 1.0 ATA, 1 dziennie, przez 3 dni.

Trzecia grupa natomiast objęta była standardową opieka medyczną. W trakcie leczenia poziom brain tissue PO2 w grupie HBOT (mean ± SEM, 223 ± 29 mm Hg) i w grupie NBH (86 ± 12 mm Hg) był istotnie zwiększony ($p<0.0001$), w przeciwieństwie dogrupy kontrolnej. Dodatkowo przez 6 h od HBOT zaobserwowano istotny wzrost wskaźnika CBF i CMRO2 ($p\leq 0,01$). Po leczeniu płyn mózgowo-rdzeniowy zmniejszył stężenie mleczanu, zarówno w grupie HBOT i NBH ($p<0,05$). Na wskutek terapii, u pacjentów po HBOT i NBH obniżył się microdialysis L/P ratio ($p<0,05$). ICP okazało się znacznie niższe po leczeniu HBOT i utrzymywało się do kolejnej sesji ($p<0,001$), w porównaniu z poziomem w grupie kontrolnej. Efekt ten nie zmieniał się przez 3 dni terapii. Parametry ventricular CSF F2-isoprostane, BAL IL-6, BAL IL-8, które wykorzystano do monitorowania potencjału toksyczności nie wzrosły [48]. W drugim badaniu poddano 42 pacjentów z ciężkim TBI w ciągu 24 h od zdarzenia (mean GCS score 5,7). W grupie badawczej (n=20) stosowano kombinację HBOT/NBO w dawce HBOT 1,5 ATA przez 1 godz. następnie NBO 1,0 ATA przez 3 godz., 1 dziennie, przez 3 dni. Grupa kontrolna (n=22) poddana była leczeniu standardowemu.

W grupie badawczej, poziom brain tissue PO2 podczas leczenia był zwiększony o 600%, w porównaniu do grupy kontrolnej($p<0,0001$). Średni poziom wyjściowy brain tissue PO2 w obu grupach był zbliżony i wynosił 30 +/- 4 mmHg. Podczas interwencji HBOT/NBO średni poziom brain tissue PO2 wzrastał do 221 +/- 20 mmHg. W porównaniu z grupą kontrolną, poziom brain tissue PO2 w HBOT/NBO po zakończeniu interwencji był wyższy o 30 %

significant differences between both groups. However, PCL-M and ImPACT indicated a significant improvement both in the researched ($t = 3.90$, $p = 0.001$) and the control group ($t = 3.76$, $p = 0.001$). The results may suggest that the implementation of HBOT with a given protocol had no effect on the symptoms occurring after a moderate TBI. Currently, there are two studies carried by Rockswold et al. [48,49], whose aim was to analyse the therapeutic efficacy of HBOT and Normobaric Hyperoxia (NBH). The experiment examined cellular metabolism in the brain with the help of the following parameters: mean brain tissue PO2; CBF; cerebral metabolic rate of oxygen (CMRO2); microdialysate lactate; microdialysate lactate/pyruvate (L/P) ratio; microdialysate glicerol. Intracranial pressure (ICP) was evaluated as oxygen toxicity was measured with the use of the following markers: ventricular colony stimulating factor (CSF) F2-isoprostane, bronchial alveolar lavage interleukin - 6 (BAL IL-6), BAL IL-8. In the first study, the evaluation was concerned with patients with severe TBI in an acute stadium 24 h from the incident. 69 patients with the mean value of GCS of 5.8 points were randomly assigned to three groups.

The first group (n=26) was treated with HBOT at 1.5 ATA for 60 min, once a day, for 3 days. The second group (n=21) was subjected to NBH with the exposure to 1.0 ATA for 3 hours, once a day, for 3 days. The third group, on the other hand, received standard medical care. In the course of the treatment the level of brain tissue PO2 in the group with HBOT (mean ± SEM, 223 ± 29 mm Hg) and the group with NBH (86 ± 12 mm Hg) was significantly elevated ($p<0.0001$) as opposed to the control group. Additionally, 6h from HBOT a significant increase was observed in CBF and CMRO2 ($p\leq 0.01$). After the treatment, the cerebrospinal fluid reduced lactate concentration both in the HBOT and NBH group ($p<0.05$). As a result of the applied therapy there was a reduction in microdialysis L/P ratio ($p<0.05$) in patients after HBOT and NBH. ICP proved to be much lower after HBOT and maintained its level until the following session (0.001) as compared with the control group.

The effect remained unchanged during 3 days of therapy. The parameters of the ventricular CSF F2-isoprostane, BAL IL-6, BAL IL-8, which were used to monitor toxicity potential did not increase. [48] In the second test, 42 patients with severe TBI were subjected

przez minimum 2,5h (p<0,0001).W okresie leczenia i po interwencji, microdialysate L/P ratios w grupie badawczej, w porównaniu z grupą kontrolną istotnie spadł o 5% (p=0,0078). Poziom microdialysate glicerol były istotnie niższe w grupie badawczej niż w grupie kontrolnej o 14 %, podczas leczenia oraz po 12 godz. od zakończenia interwencji (p=0,0193). Wartości ICP w grupie HBOT/NBO były znacząco niższe niż w grupie kontrolnej (p<0,0003) oraz utrzymywały się do następnej sesji leczniczej (p<0,0006).

Pacjenci z wyższym niż 15 mmHg ICP przed leczeniem osiągali większy spadek ICP w grupie badawczej w porównaniu z grupą kontrolną (p<0,0001). Poziomy CSF F2-isoprostane, BAL IL-6, BAL IL-8 nie były istotne statystycznie. Nastąpiła absolutna redukcja śmiertelności (absolute risk reduction - ARR=26%) w grupie badawczej w porównaniu do grupy kontrolnej (p=0,048) [49].

to treatment within 24 h from the incident (mean GCS score 5.7). In the researched group (n=20) the HBOT/NBO combination was applied with HBOT of 1.5 ATA for the period of 1 hour, followed by NBO of 1.0 ATA for 3 hours, once a day, for 3 days. The control group (n=22) was subjected to standard treatment. In the researched group, during the treatment, the (p=0,0003) level of brain tissue PO2 was increased by 600% as compared with the control group (p<0.0001). On average the initial level of brain tissue PO2 was similar in both groups and amounted to 30 +/- 4 mmHg. During HBOT/NBO intervention, the mean level of brain tissue PO2 grew to 221 +/- 20 mmHg. In comparison with the control group the level of brain tissue PO2 in HBOT/NBO after intervention completion was higher even by 30% for a minimum of 2.5h (p<0.0001). In the course of treatment, and after the intervention, the microdialysate L/P ratios in the researched group was significantly decreased by 5% (p=0.0078) as compared with the control group. The levels of microdialysate glicerol were significantly lower in the researched group - by 14 % during the therapy (p=0.0003) and 12 hours from intervention completion (p=0.0193). The values of ICP in the HBOT/NBO were significantly lower than in the control group (p<0.0003) and were maintained at a low level until the next therapeutic session (p<0.0006). Patients with ICP higher than 15 mmHg before treatment experienced its greater decrease in the researched group as compared with the control group (p<0.0001). The levels of *CSF F2-isoprostane, BAL IL-6, BAL IL-8* were not statistically significant. Also, there was an absolute risk reduction (ARR=26%) in the researched group as compared with the control group (p=0.048) [49].

Tab. 2.

Podsumowanie badań klinicznych wykorzystujących HBOT po TBI.

Summarised results of clinical examinations with the use of HBOT after TBI.

Research	Clinical research	Disease classification	Population	Intervention	Comparative intervention	End result measurement	Results for HBOT
Walker et al. (2013)	Randomised,	moderate TBI + post-concussion syndrome (PCS)/ 3-36 months from the incident	n= 21 TG1 n= 18 TG2 n= 21 CG	**TG1:** HBOT2.0 ATA 60 min. 1 per day for 40 days; **TG2:** HBOT 1.5 ATA 60 min. 1 per day for 40 days	**CG:** Air	Psychomotor Functions: *1. Grooved Pegboard Test (GPT)* *2. Sensory Organization Test (SOT)* Cognitive Functions (focus and executive functions): *1. D-KEFS LetterFluency* *2. Trails B* *3. Stroop Color-Word* *4. CPT-II Detectability Index* *5. PASAT 2.0* Cognitive functions (Memorising and operational memory): *1. WAIS III Working Memory Index* *2. CVLT Long-Delay Free Recall* *3. CVLT Index* *4. BVMT-R Delayed Recall* *5. BVMT-R Discrimination Index*	No significant improvement
Boussi-Gross et al. (2013)	Randomised; prospective	moderate TBI + post-concussion syndrome (PCS)/ 1-5 years from the incident	n= 45 TG1 n=24 TG2 n= 45 CG	**TG1**: HBOT 1.5 ATA 60 min. 1 per day for 40 days **TG2**: HBOT 1.5 ATA 60 min. 1 per day for 40 days	**CG1:** Standard treatment; **CG2:** no	1. *Mindstreams cognitive indices scores*: memorising, executive functions, focus, information processing speed. *2.EQ-5D questionnaire* *3. EQ- VAS questionnaire* 4. *SPECT*	↑ Memory (p<0.0005) ↑ Executive functions (p<0.0005) ↑ Focus (p<0.01) ↑ Information processing speed (p<0.0001) ↑ *EQ-5D for HBOT* (p<0.0001) ↑ *EQ-VAS for HBOT* (p<0.0001)
Rockswold et al. (2013)	Randomised; prospective	Severe TBI/ 24 h from the incident	n= 20 TG n= 22 CT	**TG:** combined HBOT/NBH 60 min. HBOT 1.5 ATA followed by NBH for 3 h of 100% FiO2 1.0 ATA	**CG:** Standard treatment	1. Scale (GOS) 2. Intracranial pressure (ICP) 3. *CSF F2-isoprostane* *4. Microdialysate L/P*	↑ GOS (p = 0.024) ↓ ICP (p<0.0001) ↓*CSF F2-isoprostane* (p =0.0692) ↓ *Microdialysate L/P* (p <0.0078)

cont. Tab. 2.

Sahni et al. (2012)	Retrospective,	severeTBI/ 10% < 1 month 65% = 1– 6 months 25% < 6 months after the incident	n = 20 TG n= 20 CG	**TG:** HBOT 1.5 ATA 60 min. 1 per day for 30 days	**CG:** Standard treatment	1. *Disability Rating Scale* (DRS) 2. Glasgow Scale (GCS) 3. *Rancho Los Amigos Scale* (RLAS)	↓ DRS (23.3 - 17.25) ↑ RLAS (2.08 – 4.00)
Wolf et al. (2012)	Randomised; prospective	Moderate TBI	n = 25 TG n = 25 CT	**TG:** HBOT 1.5 ATA 90 min. 1 per day for 30 days	**CG:** Air 1.3 ATA 90 min. per day for 30 days	1. *PosttraumaticStressDisorderChecklist - Military Version* (PCL-M) 2. *Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Test* (ImPACT)	No significant improvement
Rockswold et al. (2010)	Randomised; prospective	Severe TBI/ 24 - 48h from the incident	n = 26 TG1 n = 21 TG2 n = 22 CG	**TG1**: HBOT 1.5 ATA 60 min. 1 per day for 3 days **TG2:** NBH 1 ATA 3 h 100% FiO2 1 per day for 3 days	**CG:** Standard treatment	1. Cerebral blood flow (CBF) 2. Cerebral metabolism rate of oxygen (CMRO2) 3. Intracranial pressure (ICP) *4. CSF lactate* *5. CSF F2-isoprostane etc.*	↑CBF ($p \leq 0.01$) ↑CMRO2 ($p \leq 0.01$) ↓ICP ($p < 0.001$) ↓CSF lactate ($p = 0.045$) No significant improvement: *F2-isoprostane levels,* *microdialy sate glycerol*, BAL inflammation markers
Lin et al. (2008)	Prospective; cohort	Severe TBI/ 27.5 +/- 5.8 days prior inclusion	n = 22 TG n = 22 CG	**TG:** HBOT 2.0 ATA 90 min. 1 per day for 20 days	**CG:** Standard treatment	1. Glasgow Scale (GCS) 2. Glasgow Outcome Scale (GOS)	↑ GCS ($p<0.05$) 0.05)

DYSKUSJA

Badania przedkliniczne ukazały powtarzalny efekt terapeutyczny. W wielu z nich, w dokładny sposób analizowano wykładniki stanu zapalnego, które mają priorytetowe znaczenie w późnych następstwach TBI. Dzięki zastosowaniu połączeniu testów behawioralnych z badaniami komputerowego neuroobrazowania w badaniu Xiao-Er Wer, wykazano nie tylko spadek obrzęku ale także poprawę funkcji lokomotorycznych i wzrost siły mięśniowej [39-42]. Badania przedkliniczne mogą mieć bezpośredni wpływ na dynamikę rozwoju badań klinicznych a w następnych latach, na szersze zastosowanie HBOT. Szczególnie ważnym aspektem zastosowania HBOT w TBI jest wypracowanie protokołów postępowania z uwzględnieniem dawki terapeutycznej, czasu terapii i innych ważnych elementów z tym związanych.

Wyniki końcowe badań klinicznych okazały się nieco sprzeczne. Pogląd zastosowania HBOT jako metody wspomagającej w leczeniu TBI, w środowisku medycznym jest nadal kontrowersyjny. Dwa badania autorstwa Rockswold et al. [48,49] przeprowadzone były na pacjentach po ciężkim TBI, po 24 – 48 h od incydentu. W jednym badaniu zastosowano samo HBOT, natomiast w drugim HBOT z NBH. W obu przypadkach zaobserwowano usprawnienie procesów metabolicznych w mózgu, obniżenie ciśnienia śródczaszkowego oraz brak wzrostu markerów odpowiedzialnych za pomiar toksyczności tlenu. Pozostałe badania oceniały skuteczność leczniczą HBOT wśród pacjentów, będących w późniejszym stadium choroby. Stosując HBOT jako formę rehabilitacyjną, usprawniającą czynności funkcjonalne oraz poznawcze, Lin et al. [43] w protokole HBOT zastosował dawkę 2.0 ATA wśród pacjentów z ciężkim TBI, będących średnio 27,5 +/- 5,8 dni od zdarzenie. Autor wywnioskował, że HBOT może przynieść korzyści w leczeniu TBI. Sahni et al. [44] również doszedł do podobnych wniosków, badając pacjentów z ciężkim TBI, średnio 1-6 miesięcy od urazu dawką HBOT 1.5 ATA. W badaniu Walker et al. [46], w którym włączono pacjentów po umiarkowanym TBI z i/lub PCS utrzymującym się 3-36 miesięcy

DISCUSSION

Preclinical tests revealed a repeatable therapeutic effect. In many of them the exponents of an inflammatory state, which are of crucial importance in late TBI outcomes, were precisely analysed. Due to the applied combination of behavioural tests and computerised neuroimaging, the Xiao-Er Wer test showed not only a decrease of an oedema but also an improvement in locomotor functions and a growth in the muscle strength [39-42]. Preclinical tests may have a direct impact on the dynamics of development of clinical research, and, in the years to come years, on a broader application of HBOT. A particularly important aspect of HBOT application in TBI consists in working out procedure protocols with the specification of therapeutic dosage, therapy time and other related elements.

The end results of the clinical research appeared to be somewhat contradictory. The concept of HBOT implementation as a supporting method in treating TBI still raises certain controversies in medical environments. Two studies by Rockswold et al. [48,49] were carried out on patients after severe TBI after 24 - 48 h from the incident. One of them applied only HBOT, whereas the other HBOT was combined with NBH. In both cases there was a visible facilitation of metabolic processes in the brain, a reduction in intracranial pressure and a lack of an increase in the markers related to oxygen toxicity. The remaining tests evaluated the therapeutic efficacy of HBOT among patients in a later stadium. HBOT was provided as a rehabilitative treatment, facilitating the functional and cognitive activities. Lin et al. [43] in HBOT protocol applied the dose of 2.0 ATA among patients with severe TBI being on average 27.5 +/- 5.8 days from the injury. The author's conclusion was that HBOT could be beneficial in treating TBI. Sahni et al. [44] also made similar conclusions when treating patients with severe TBI being on average 1-6 months from the injury with HBOT of 1.5 ATA. In the study conducted by Walker et al. [46], which included patients after moderate and/or PCS maintained for 3-36 months, an insufficient significance level was observed. In consequence, a thesis was written concerned with the invalidity of using HBOT of 1.5 ATA and 2.0

zaobserwowano niedostateczny poziom istotności. Wysunięto tezę braku zasadności stosowania HBOT 1.5 ATA i 2.0 ATA w leczeniu deficytów poznawczych, psychomotorycznych powstałych w następstwie badanych chorób. Podobny rezultat leczniczy HBOT 1.5 ATA uzyskał Wolf et al. [47].

Odmienne i wysoce statystycznie istotne efekty końcowe otrzymał Boussi-Gross et al. [45] prowadząc badania na osobach 1-5 lat po umiarkowanym TBI oraz i/lub z PCS. Badanie prospektywne, randomizowane oceniało zaburzone funkcje poznawcze i QOL po interwencji HBOT 1.5 ATA. Efrati et al. [50] sugeruje, że zastosowanie HBOT w ostrym i wczesnym stadium po TBI jest niemożliwe do oznaczenia i oceny efektów terapii hiperbarycznej, w porównaniu do skutków spontanicznej regeneracji tkanek mózgu, aktywnej w tej fazie. Dodatkowo podwyższenie tlenu u niektórych osób może spowalniać naturalną regenerację lub spowodować toksyczność. Chory będący w przewlekłym stadium wykazuje zaś stabilność neurologiczną z małym prawdopodobieństwem spontanicznych zmian, niezwiązanych z leczeniem HBOT. Zdaniem autora ta teoria może wyjaśnić negatywne wyniki w badaniach wykorzystujących HBOT, we wczesnym etapie po udarze [51,52,53,54,55]. Omawiane badania posiadały zróżnicowany protokół badań. Można przypuszczać, że czynniki takie jak: stadium TBI, stopień nasilenia TBI, dawka HBOT, czas i liczba sprężeń mogą wpłynąć na wynik końcowy badania. Dlatego w celu rozstrzygnięcia sporu, zalecane jest prowadzanie w dalszym ciągu badań prospektywnych, randomizowanych, wielo-ośrodkowych.

Nowe, wiarygodne doniesienia naukowe wzbogaciłyby wiedzę na ten temat oraz mogłyby pomóc w utworzeniu uniwersalnego protokołu zastosowania HBOT dla TBI.

WNIOSKI

Badania przedkliniczne wykazały znaczny potencjał leczniczy HBOT. Analiza TBI badań klinicznych natomiast ukazuje nie jednoznaczne i nieco sprzeczne wyniki końcowe. Niezbędne jest dalsze prowadzenie badań prospektywnych, randomizowanych, które pomogłyby ocenić realny efekt leczniczy HBOT u pacjentów po TBI.

ATA in treating cognitive and psychomotor deficits resulting from the researched conditions.
A similar therapeutic result of HBOT of 1.5 ATA was obtained by Wolf et al. [47].

On the other hand, different and highly statistically significant end results were obtained by Boussi-Gross et al. [45] in a study on patients 1-5 years from a moderate TBI as well as and/or with PCS. A prospective randomised study evaluated the disturbed cognitive functions and QOL after an intervention with HBOT of 1.5 ATA. Efrati et al. [50] suggested that it was impossible to determine and evaluate the effects of hyperbaric therapy when applying HBOT in an acute and early stadium after TBI, as at this stage spontaneous brain tissue regeneration is also active. Moreover, an increased level of oxygen may decelerate natural regeneration processes in certain people or induce toxicity. On the other hand, a patient in a chronic stadium shows neurological stability with little probability of an occurrence of spontaneous changes that are not related to HBOT.

According to the author, this theory could explain the negative results obtained in the studies using HBOT in an early phase after a stroke [51,52,53,54,55]. The discussed studies were characterised by diversified working protocols. We may presume that factors such as: the stadium of TBI, level of intensification of TBI, HBOT dose, time and number of compressions could affect the outcome of the research. Therefore, in order to resolve the above dispute it is recommended to conduct further prospective, randomised and multi-center research. New reliable scientific reports would enrich our knowledge on this subject and could help in drafting a universal working protocol regarding HBOT application for TBI.

CONCLUSIONS

Preclinical studies indicated a considerable medical potential of HBOT. An analysis of clinical studies, on the other hand, revealed equivocal and somewhat contradictory final results. It is necessary to conduct further prospective randomised research that could help to evaluate the real therapeutic effect of HBOT in patients after TBI.

BIBLIOGRAPHY

1. Dawodu S.T., M.D., J.D. et al. Traumatic Brain Injury (TBI) - Definition, Epidemiology, Pathophysiology. http://emedicine.medscape.com/article/326510-overview. 2014.03.10
2. Tagliaferri F., Compagnone C., Korsic M. et al. A systematic review of brain injury epidemiology in Europe. Acta Neurochir. 2006;148: 255–268.
3. Frost R..B., Farrer T.J., Primosch M. et al. Prevalence of traumatic brain injury in the general adult population: a meta-analysis. Neuroepidemiology. 2013;40: 154-159, doi: 10.1159/000343275.
4. Medana I.M., Esiri M.M. Axonal damage: a key predictor of outcome in human CNS diseases. Brain: a journal of neurology. 2003;126: 515-530.
5. Kochanek P.M., Clark R.S.B., Jenkins L.W. TBI: Pathobiology. In: Zasler N.D., Katz, D.I, Zafonte, R.D., editor. Brain injury medicine. NY: Demos medical publishing. pp. 2007; 81–92.
6. Siesjo B.K., Siesjo P. Mechanisms of secondary brain injury. Eur J Anaesthesiol. 1996; 13: 247–268.
7. Muizelaar J.P. Cerebral blood flow, cerebral blood volume, and cerebral metabolism after severe head injury. In: Becker D.P., Gudeman S.K., eds. Textbook of Head Injury, Philadelphia, PA: WB Saunders, 1989: pp. 221–240.
8. Siesjo B.K. Basic mechanisms of traumatic brain damage. Ann EmergMed.1993; 22: 959-969.
9. Ikeda Y., Long D.M. The molecular basis of brain injury and brain edema: The role of oxygen free radicals. Neurosurgery.1990; 27:1–11.
10. Menzel M., Doppenberg E.M., Zauner A. et al. Increased inspired oxygen concentration as a factor in improved brain tissue oxygenation and tissue lactate levels after severe human head injury. J Neurosurg. 1999; 91: 1-10.
11. Signoretti S., Marmarou A., Tavazzi B. et al. N-Acetyl aspartate reduction as a measure of injury severity and mitochondrial dysfunction following diffuse traumatic brain injury. J Neurotrauma. 2001; 18: 977-991.
12. Valadka A.B., Goodman J.C., Gopinath S.P. et al. Comparison of brain tissue oxygen tension to microdialysis-based measures of cerebral ischemia in fatally head-injured humans. J Neurotrauma.1998; 7:509–519.
13. Łatka U., Kuliński W., Knefel G. et al. Current state of hyperbarci medicine in Poland. Balneologia Polska. 2009; 1: 7-17.
14. Zhang, J.H., Lo T., Mychaskiw G. et al.,. Mechanisms of hyperbaric oxygen and neuroprotection in stroke. Pathophysiology. 2005; 12: 63-77.
15. Matchett, G.A., Robert D. Martin R.D., Zhang J.H. Hyperbaric oxygen therapy and cerebral ischemia: neuroprotective mechanisms. Neurol. Res. 2009b; 31: 114-121, doi: 10.1179/174313209X389857.
16. Calvert J.W., Cahill J., Zhang J.H. Hyperbaric Oxygen and Cerebral Physiology. Neurol Res 2007; 29: 132-141.
17. Zhou Z., Daugherty W.P., Sun D. et al: Protection of Mitochondrial Function and Improvement in Cognitive Recovery in Rats Treated with Hyperbaric Oxygen Following Lateral Fluid-Percussion Injury. J Neurosurg. 2007; 106: 687-694.
18. Daugherty W.P., Levasseur J.E., Sun D. et al. Effects of Hyperbaric Oxygen Therapy on Cerebral Oxygenation and Mitochondrial Function Following Moderate Lateral Fluid-Percussion Injury in Rats. J Neurosurg. 2004; 101: 499-504.
19. Palzur E, Zaaroor M, Vlodavsky E. et al. Neuroprotective Effect of Hyperbaric Oxygen Therapy in Brain Injury Is Mediated by Preservation of Mitochondrial Membrane Properties. Brain Res. 2008; 1221: 126-133 doi: 10.1016/j.brainres.2008.04.078.
20. Buda K., Daroszewska M., Ciesielska N. et al. The guidelines of the European Society of Hyperbaric Medicine, the Society of Underwater and Hyperbaric Medicine and the National Health Fund Polish Republic on a hyperbaric oxygen therapy (HBOT) in 2013. Journal of Health Sciences. 2013; 3 (9): 125-134.
21. Fasano V.A., Nunno T., Urciolo R. et al. First observation on the use of oxygen under high pressure for the treatment of traumatic coma. In: Boerema, Brummelkamp and Meigne, editor(s). Clinical Application of Hyperbaric Oxygen Amsterdam: Elsevier. 1964; 168-73.
22. Badr A.E., Yin W., Mychaskiw G. et al. Effect of hyperbaric oxygen on striatal metabolites: a microdialysis study in awake freely moving rats after MCA occlusion., Brain Res. 2001; 916: 85-90.
23. Golden Z.L., Neubauer R., Golden C.J. et al. Improvement in cerebral metabolism in chronic brain injury after hyperbaric oxygen therapy, Int. J. Neurosci. 2002; 112: 119-131.
24. Mink R.B., Dutka A.J. Hyperbaric oxygen after global cerebral ischemia in rabbits reduces brain vascular permeability and blood flow. Stroke. 1995; 26: 2307-2312.
25. Brown J.A., Preul M.C., Taha A. Hyperbaric oxygen in the treatment of elevated intracranial pressure after head injury, Pediatr.Neurosci. 1988; 14: 286-290.
26. Yin W., Badr A.E., Mychaskiw G. et al. Down regulation of COX-2 is involved in hyperbaric oxygen treatment in a rat transient focal cerebral ischemia model, Brain Res. 2002; 926: 165-171.
27. Calvert J.W., Zhou C., Nanda A. et al. Effect of hyperbaric oxygen on apoptosis in neonatal hypoxia–ischemia rat model, J.Appl. Physiol. 2003; 95: 2072-2080.
28. Yin D., Zhou C., Kusaka I. et al. Inhibition of apoptosis by hyperbaric oxygen in a rat focal cerebral ischemic model, J. Cereb. Blood Flow Metab. 2003; 23: 855-864.
29. Brown D.B., Mueller G.L., Golich F.C. Hyperbaric oxygen treatment for carbon monoxide poisoning in pregnancy: a case report,Aviat. Space Environ. Med. 1992; 63: 1011-1014
30. Liebelt E.L. Hyperbaric oxygen therapy in childhood carbon monoxide poisoning, Curr. Opin. Pediatr.1999; 11: 259-264.
31. Plafki C., Peters P., Almeling M. et al. Complications and side effects of hyperbaric oxygen therapy. Aviat Space Environ Med. 2010; 71(2):119-124.
32. Hyperbaric Medicine Team Training. San Antonio, Texas; 15-18.03.2014
33. Churchill S., Hopkins R.O., Weaver L.K. Incidence and duration of myopia while receiving hyperbaric oxygen therapy. Undersea Hyper Med 1997; 25(suppl.): 34.
34. Lyne A.J. Ocular effects of hyperbaric oxygen. Trans Ophtalmol Soc UK 1978; 98: 66-68.
35. Kindwall E.P., Whelan H.T. Hyperbaric medicine practice. Best Publishing Company, Flagstaff, Arizona, 2002.
36. Cuzner M.I., Opdenakker G. Plasminogen activators and matrix metalloproteinases, mediators of extracellular proteolysis in inflammatory demyelination of the central nervous system , J Neuroimmunol 1999; 94: 1–14.
37. Vlodavsky E., Palzur E., Soustiel J. F., Hyperbaric oxygen therapy reduces neuroinflammation and expression of matrix metalloproteinase- 9 in the rat model of traumatic brain injury, Neuropathology and Applied Neurobiology 2006 ;32; 40–50.

38. Harch PG , Kriedt C, Van Meter KW, Sutherland RJ. Hyperbaric oxygen therapy improves spatial learning and memory in a rat model of chronic traumatic brain injury, Brain Res. 2007; 1174: 120-129.
39. Lewen A., Matz P., Chan P., Free radical pathways in CNS injury. J.Neurotraum. 2000; 17: 871-890.
40. Yang Y, Zhang YG, Lin GA et al, The effects of different hyperbaric oxygen manipulations in rats after traumatic brain injury, Neurosci Lett. 2014; 563: 38-43, doi: 10.1016/j.neulet.2014.01.002.
41. Wer X.E., Lie Y.H, Zhao H., Quantitative evaluation of hyperbaric oxygen efficacy on experimental traumatic brain injury. An MRI study, Neurol Sci. 2014; 35:295–302, doi: 10.1007/s10072-013-1514-6.
42. Brkic P., Stojiljkovic M., Jovanovic T. Hyperbaric oxygenation improves locomotor ability by enhancing neuroplastic responses after cortical ablation in rats, Brain Injury. 2012; 26(10): 1273-1284
43. Lin J.W., Tsai J.T., Lee L.M. et al. Effect of hyperbaric oxygen on patients with traumatic brain injury. Acta Neurochir Suppl. 2008; 101:145-149
44. Sahni T., Jain M., Rajendra P. et al. Use of hyperbaric oxygen in traumatic brain injury: Retrospective analysis of data of 20 patients treated at a tertiary care centre. British Journal of Neurosurgery, 2012; 26(2): 202–207, doi: 10.3109/02688697.2011.626879
45. Boussi-Gross R., Golan H., Fishlev G. et al. Hyperbaric Oxygen Therapy Can Improve Post Concussion Syndrome Years after Mild Traumatic Brain Injury - Randomized Prospective Trial. Plos One. 2013; 8(11): 1-19, doi: 10.1371/journal.pone.0079995 .
46. Walker W.C., Manning Franke L., Cifu D. X. et al. Randomized, Sham-Controlled, Feasibility Trial of Hyperbaric Oxygen for Service Members With Postconcussion Syndrome:Cognitive and Psychomotor Outcomes 1 Week Postintervention. Neurorehabilitation and Neural Repair. 2013; Vol XX(X): 1-13.
47. Wolf E.G., Cifu D., Baugh L. et al. Hyperbaric side effects in a traumatic brain injury randomized clinical trial. Undersea Hyperb. Med. 2012; 39: 1075-1082.
48. Rockswold S.B., Gaylan M.D., Rockswold L. et al.. A prospective, randomized clinical trial to compare the effect of hyperbaric to normobaric hyperoxia on cerebral metabolism, intracranial pressure, and oxygen toxicity in severe traumatic brain injury. J. Neurosurg. 2010; 112: 1080-1094.
49. Rockswold S.B., Rockswold G.L., Zaun D.A. et al. A prospective, randomized Phase II clinical trial to evaluate the effect of combined hyperbaric and normobaric hyperoxia on cerebral metabolism, intracranial pressure, oxygen toxicity, and clinical outcome in severe traumatic brain injury. J. Neurosurg. 2013; 118: 1317-1328.
50. Efrati S, Fishlev G, Bechor Y, Volkov O, Bergan J, et al. (2013) Hyperbaric oxygen induces late neuroplasticity in post stroke patients - randomized, prospective trial. 2013; PloS one 8: e53716, doi: 10.1371/journal.pone.0053716.
51. Rusyniak D.E., Kirk M.A., May J.D. et al. Hyperbaric oxygen therapy in acute ischemic stroke: results of the Hyperbaric Oxygen in Acute Ischemic Stroke Trial Pilot Study. Stroke; 2003; 34: 571-574.
52. Imai K., Mori T., Izumoto H. et al. Hyperbaric oxygen combined with intravenous edaravone for treatment of acute embolic stroke: a pilot clinical trial. Neurologia medico-chirurgica. 2006; 46: 373–378.
53. Anderson D.C., Bottini A.G., Jagiella W.M. et al. A pilot study of hyperbaric oxygen in the treatment of human stroke. Stroke; a journal of cerebral circulation. 1991; 22: 1137-1142.
54. Nighoghossian N., Trouillas P., Adeleine P. et al. Hyperbaric oxygen in the treatment of acute ischemic stroke. A double-blind pilot study. Stroke. 1995; 26: 1369-1372.
55. Vila J.F., Balcarce P.E., Abiusi G.R. et al. Improvement in motor and cognitive impairment after hyperbaric oxygen therapy in a selected group of patients with cerebrovascular disease: a prospective single-blind controlled trial. Undersea & hyperbaric medicine: journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society. 2005; 32: 341-349.

Wstęp. Urazowe uszkodzenie mózgu (Traumatic brain injury - TBI), mogące prowadzić do stałego lub czasowego upośledzenia funkcji poznawczych, sensomotorycznych i psychospołecznych z towarzyszącymi zaburzeniami świadomości. Rozproszone niszczenie dróg aksonalnych i małych naczyń krwionośnych to najczęstsza pierwotna patologia. Podczas wczesnej fazy uszkodzenia pomimo zwiększonych potrzeb energetycznych tkanki mózgowej, podaż tlenu oraz jego dyfuzja do tkanek zmniejszają się. Hiperbaryczna terapia tlenowa (Hyperbaric oxygen therapy - HBOT) natomiast jest wspomagającą metodą leczniczą polegającą na inhalacji 100% tlenem o podwyższonym ciśnieniu. HBOT przyczynia się do znacznego wzrostu prężności tlenu we krwi. Proces ten może znacznie zwiększyć zasięg dyfuzji tlenu z naczyń włosowatych do otaczających niedotlenionych komórek, usprawniając ich metabolizm.

Cel. Przegląd literatury w poszukiwaniu badań przedklinicznych oraz klinicznych oceniających skuteczność metody HBOT w procesie leczniczym TBI.

Materiał i metody. Posługując się słowami kluczami *hiperbaryczna terapia tlenowa (hyperbaric oxygen therapy), urazowe uszkodzenie mózgu (traumatic brain injury)* przeszukano elektroniczne pełnotekstowe bazy bibliograficzne: *EBSCO host Web, Wiley Online Library, Springer Link, Science Direct* oraz *Medline.* Za kryteria włączenia uwzględniono badania przedkliniczne, badania kliniczne weryfikujące efektywność leczniczą HBOT w różnych stadiach i stopniach nasilenia TBI u dorosłych. Ocenie poddano jedynie artykuły opublikowane w języku polskim i angielskim. Za kryteria wyłączenia uznano badania w formie studium przypadków i raportów.

Wyniki. Ostatecznie do analizy zakwalifikowano dziewięć badań przedklinicznych opublikowanych w latach 2006-2014 oraz siedem klinicznych w latach 2008-2013.

Wnioski. Badania przedkliniczne wykazały znaczny potencjał leczniczy HBOT. Analiza badań klinicznych natomiast ukazała nie jednoznaczne i nieco sprzeczne wyniki końcowe. Niezbędne jest dalsze prowadzenie badań prospektywnych, randomizowanych, które pomogłyby ocenić realny efekt leczniczy HBOT u pacjentów po TBI.

Słowa kluczowe: urazowe uszkodzenie mózgu, hiperbaryczna terapia tlenowa, przegląd badań.

Введение. Травматическое повреждение мозга (черепно-мозговая травма - ЧМТ), которое может привести к постоянному или временному обесценению функций когнитивных, сенсомоторных и психосоциальных, сопровождаемых нарушением сознания. Диффузное аксональное повреждение и повреждение мелких кровеносных сосудов является наиболее распространенной первичной патологией. На раннем этапе травмы, несмотря на увеличение спроса на энергию мозговой ткани, доставка кислорода, а также его диффузия в тканях снижается. Гипербарическая оксигенотерапия (Hyperbaric oxygen therapy - HBOT), тем не менее является поддерживающим методом лечения, связанным с вдыханием 100% кислорода под повышенным давлением. HBOT способствует значительному увеличению напряжения кислорода в крови. Этот процесс может значительно увеличить спектр диффузии кислорода из капилляров в окружающие гипоксические клетки, модифицируя их метаболизм.
Цель. Обзор литературы в поисках доклинических и клинических исследований, оценивающих эффективность методы HBOT в процессе лечения ЧМТ.
Материалы и методы. Используя ключевые слова *гипербарическая оксигенация (hyperbaric oxygen therapy), черепно-мозговая травма (traumatic brain injury)* просмотрены полнотекстовые электронные библиографические базы данных: *EBSCO host Web, Wiley Online Library, Springer Link, Science Direct и Medline*. За критерия включения учитывались доклинические и клинические исследования, оценивающие эффективность терапевтического HBOT в различных стадиях ЧМТ у взрослых. Были оценены только статьи, опубликованные в польском и английском языках. Критериями исключения считались исследования в виде конкретных примеров по данной тематике и отчетов.
Результаты. В заключение, к анализе зачислены девять доклинических исследований, опубликованных между 2006-2014 гг и семь исследований 2008-2013 гг.
Заключение. Доклинические исследования показали значительный терапевтический потенциал HBOT. Анализ клинических исследований показал не однозначные и, несколько, противоречивые окончательные результаты. Необходимо дальнейшее проспективных и рандомизированных исследований, которые помогут оценить реальный терапевтический эффект HBOT у больных с ЧМТ.
Ключевые слова: черепно-мозговая травма, гипербарическая оксигенация, обзор исследований.

mgr Natalia Ciesielska
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy
nataliaciesielska1986@gmail.com

Remigiusz Sokołowski
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy

Aneta Popiel
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy

dr Mariusz Kozakiewicz
Katedra i Zakład Biochemii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy
ul. Karłowicza 24 85-829 Bydgoszcz
tel. 52/5853759 markoz@cm.umk.pl

Martyna Sysakiewicz
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy
ul. Karłowicza 24 85-829 Bydgoszcz

Kamil Buda
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Collegium Medicum w Bydgoszczy
ul. Karłowicza 24 85-829 Bydgoszcz

prof. dr hab. n. med. Kornelia Kędziora-Kornatowska
Katedra i Klinika Geriatrii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika Collegium Medicum w Bydgoszczy
ul. Karłowicza 24 85-829 Bydgoszcz

A LINE OF SUBMARIMEN AND FERULASHI DERMACOSMETICS - AN EFFECTIVE RESPONSE TO DERMATOLOGICAL CONDITIONS IN PEOPLE WHO ARE EXTENSIVELY EXPOSED TO WATER, PARTICULARLY INTENDED FOR DIVERS AND SURFERS

SERIA DERMATOKOSMETYCZNA SUBMARIMEN I FERULASHI – SKUTECZNA ODPOWIEDŹ NA PROBLEMY DERMATOLOGICZNE OSÓB MAJĄCYCH DŁUGOTRWAŁY KONTAKT Z WODĄ, A SZCZEGÓLNIE Z PRZEZNACZENIEM DLA PŁETWONURKÓW I SURFERÓW

СЕРИЯ ДЕРМАТОЛОГИЧНЫХ КОСМЕТИКОВ SUBMARIMEN И FERULASHI- ЭФФЕКТИВНАЯ БОРЬБА С ДЕРМАТОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОБЛЕМАМИ ЛЮДЕЙ,КОТОРЫЕ ИМЕЮТ ДЛИТЕЛЬНЫЙ КОНТАКТ С ВОДОЙ, ОСОБЕННО ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ АКВАЛАНГИСТОВ И СЕРФИНГИСТОВ

Romuald Olszański [1)], Małgorzata Dąbrowiecka [1)], Agnieszka Kowalska [2)], Łukasz Piwowarski [2)], Zbigniew Dąbrowiecki [1)], Piotr Siermontowski [1)]

[1)] Wojskowy Instytut Medyczny, Pion Nauki, Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej w Gdyni
[1)] The Military Medical Institute, Department od science, Institute of Marine and Hyperbaric Medicine, Gdynia, Poland
[2)] PROF.COSMETICA Sp. z o.o., Łomianki near Warsaw, Poland
[2)] PROF.COSMETICA Sp. z o.o., Łomianki k/Warszawy

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

People who come into frequent and prolonged contact with water, divers and surfers in particular, are prone to dermatological conditions resulting from a discontinuation of the skin barrier, or a disorder of its continuity. The paper presents those disease entities which occur most frequently in people who are extensively exposed to water. It also describes the main ingredients of the dermatological products tested, and demonstrates a case study. The study has undertaken to determine whether the line of SUBMARMEN cosmetics possess properties that inhibit the growth of microbes. To this end, scientists have used a method of surface culture on an agar medium which was enriched by a cream sample representative of the line of cosmetics under scrutiny. The results yielded allow to accurately determine what optimum concentration ensures properties that inhibit growth of the microbes, while setting a direction for future research over the SUBMARIMEN line to analyse moisture, lubrication, elasticity and the pH of the skin.
Key words: dermatoses in divers, diving, surfing, cosmetics for divers, prophylaxis of aquatic dermatoses.

Osoby mające długotrwały i częsty kontakt z wodą, w szczególności płetwonurkowie i surferowie są narażeni na problemy dermatologiczne, wynikające z przerwania bądź zaburzenia ciągłości bariery skórnej. W pracy przedstawiono najczęstsze jednostki chorobowe występujące u osób mających długotrwały kontakt z wodą, opisano główne składniki badanych produktów dermatokosmetycznych oraz przedstawiono część badawczą. W badaniu podjęto próbę określenia czy produkty kosmetyczne serii SUBMARIMEN posiadają właściwości inhibujące wzrost drobnoustrojów. W tym celu wykorzystano metodę posiewu powierzchniowego na podłożu agarowym wzbogaconym próbką kremu będącego substancją reprezentatywną badanej serii. Aktualny wynik pozwala określić optymalne stężenie, zapewniające właściwości inhibujące wzrost drobnoustrojów, jednocześnie ukierunkowuje do przeprowadzenia kolejnych badań z wykorzystaniem serii SUBMARIMEN analizujących nawilżenie, natłuszczenie, elastyczność oraz pH skóry.
Słowa kluczowe: dermatozy nurków, nurkowanie, surfing, kosmetyki dla nurków, profilaktyka dermatoz wodnych.

The summary in Russian on end of the publication.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 27 – 36

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

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.2
Pages: 11, figures: 10, tables: 1.

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

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

Prezentowana seria dermatokosmetyków została opracowana dla osób mających długotrwały i częsty kontakt z wodą np. nurków czy surferów, jako profilaktyka przed wystąpieniem problemów dermatologicznych.

Warstwę rogową skóry tworzą keratynocyty, które są zespolone przez lipidy (ceramidy, cholesterol i kwasy tłuszczowe). Lipidy stanowią element bariery naskórkowej m.in. zapobiegający nadmiernej utracie wody, której utrata prowadzi do powstawania suchości skóry.

ZAŁOŻENIA DO PROJEKTU

W normalnych warunkach na ustabilizowaną, zrównoważoną barierę skórną człowieka, składają się: bariera mikrobiologiczna oraz warstwa rogowa.

Naturalna saprofityczna flora bakteryjna chroni skórę przed patogennymi drobnoustrojami. Mikroflora bakteryjna przyczynia się więc do nadzorowania sprawnego przebiegu wielu podstawowych przemian takich jak ochrona skóry przed infekcjami, a także nadzór procesów enzymatycznych czy stymulowanie reakcji odpornościowej. Saprofityczną florę bakteryjną u dorosłego człowieka stanowią bakterie z rodzaju Staphylococcus, Corynebacterium oraz Propionibacterium.

Przyczyną naruszenia ciągłości bariery skórnej są najczęściej występujące urazy mechaniczne, a także czynniki wewnętrzne (choroba), lub zewnętrzne np. długotrwałe i częste przebywanie w wodzie.

Przy określeniu cech jakie powinny spełniać dermatokosmetyki serii SUBMARIMEN, wytypowano jako najwa-żniejsze dwie, które uznano jako bezwzględne do spełnienia:

-zdolność natychmiastowego uzupełnienia składników warstwy rogowej oraz jej regeneracja,

-zdolność do przywrócenia równo-wagi w barierze mikrobiologicznej i prewencyjna ochrona antybakteryjna.

NAJCZĘŚCIEJ WYSTĘPUJĄCE PROBLEMY DERMATOLOGICZNE U OSÓB MAJĄCYCH DŁUGOTRWAŁY KONTAKT Z WODĄ

Do najczęściej występujących

INTRODUCTION

The line of dermacosmetics demonstrated in the present study has been developed for people frequently or extensively exposed to water, such as divers or surfers, as a prophylaxis against the occurrence of dermatological conditions. The cornified layer of skin is composed of keratinocytes, which are integrated by lipids (ceramides, cholesterol and fatty acids). Lipids are the building blocks of the epidermal barrier, which, among many things, prevents extensive water loss, which in turn leads to the condition of dry skin.

GENERAL GUIDELINES FOR THE PROJECT

Under normal conditions, a stabilized and balanced human skin barrier is composed of the microbiological barrier and the cornified layer.

Natural saprophytic bacterial flora protects skin against pathogenic microbes. Bacterial microflora thus contributes to an efficient maintenance of many basic changes such as protection of the skin against infections, as well as the maintenance of enzymatic processes, or the stimulation of resistance reactions. Saprophytic bacterial flora in an adult is comprised of the Staphylococcus, Cornyebacterium and Propionibacrium kinds of bacteria.

Skin barrier continuity disorders are the result of frequently occurring injuries and traumas, as well as internal (disease) and external factors, e.g. prolonged or frequent exposure to water.

In order to determine what should characterise the line of SUBMARIMEN cosmetics, two properties that are deemed to be absolutely essential have been singled out:

- the ability to instantly replenish lost components in the cornified layer and its regeneration,

- the ability to retrieve balance in the microbiological barrier, as well as preventive antibacterial protection.

MOST COMMON DERMATOLOGICAL CONDITIONS IN PEOPLE EXTENSIVELY EXPOSED TO WATER

The most common dermatological conditions in people who are extensively

problemów zdrowotnych u osób mających długotrwały kontakt z wodą zaliczamy **[**1,2,3]:

Przewlekłe zapalenie mieszków włosowych, które najczęściej są umiejscowione w okolicy karku, pośladków, owłosionej skóry głowy czy kończyn (Rys. 1). Przyczyną zapalenia mieszków włosowych są bakterie Gram-dodatnie: gronkowce (*Staphylococcus aureus*), paciorkowce (*Streptococcus pyogenes*), bakterie Gram-ujemne: *Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli*.

Grzybice skóry – najczęściej występuje grzybica międzypalcowa stóp (Rys. 2, 3) wywołana przez: *Trichophyton rubrum* i *mentagrophytes*, a także *Candida albicans*. Może wystąpić także grzybica pachwin (Rys. 4) wywołana najczęściej przez *Epidermophyton floccosum* oraz grzybicze zapalenie ucha zewnętrznego (Rys. 5) wywołane m.in. zaleganiem wody w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Przyczyną mogą być grzyby pleśniowe lub drożdżopodobne. Częściej u nurków występuje także łupież pstry wywołany przez *Malassezia furfur.*

Kontaktowe zapalenie skóry z podrażnienia wywołane przez produkty, z jakich wykonany jest ubiór nurka. Objawami kontaktowego zapalenia skóry z podrażnienia to lichenizacja, zlewne ogniska nadmiernego rogowacenia naskórka, linijne pęknięcia, rozpadliny. Okresowo pojawiają się objawy o charakterze ostrym: rumień, obrzęk, grudki wysiękowe, pęcherzyki z towarzyszącym świądem (Rys. 6, 7). Powyższe zmiany występują głównie na kończynach i twarzy. Charakterystyczny jest tzw. „syndrom ręki nurka" (Rys. 8). [4]

Suchość skóry - przyczyną jest stała ekspozycja na wodę. Powtarzający się kontakt z wodą, powoduje przełamanie bariery ochronnej skóry, którą stanowi warstwa rogowa. Wywołuje to przewlekły stan zapalny skóry, objawiający się zaczerwienieniem, a następnie złuszczaniem i suchością skóry.

exposed to water are [1,2,3]:

Chronic folliculitis, occurring most frequently in the area of the neck, buttocks, scalp or limbs (Fig. 1). Responsible for folliculitis are Gram-positive bacteria: staphylococci (*Staphylococcus aureus*), streptococci (*Streptococcus pyogenes*), Gram-negative bacteria: *Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli*.

Tinea pedis (Athlete's foot) - the most common manifestation is the interdigital athlete's foot (Fig. 2, 3) caused by: *Trichophyton rubrum* and *mentagrophytes*, as well as *Candida albicans*. There is also a possibility of the Tinea inguinalis (ringworm of the groin) (Fig. 4) mainly caused by *Epidermophyton floccosum*, as well as the otitis externa (Fig. 5) caused by the retention of water in the external auditory canal. These may be caused by mould or yeast-like fungi. Divers are more at risk to suffer from tinea versicolor caused by *Malessezia furfur.*

Irritant contact dermatitis caused by component products of a diver's clothing. The symptoms of irritant contact dermatitis are lichenification, blended foci of extensive cornification, linear fissures or ragads. Periodically acute symptoms appear: erythema, swelling, exudative papule, pruritic blisters (Fig. 6, 7). The abovementioned lesions appear chiefly on the face and limbs. Typically occurring is the so-called "diver's hand syndrome" (Fig. 8) [4].

Dryness of skin - caused by permanent exposition to water. Repeated contact with water causes the protective barrier of the skin, the cornified layer, to break. This in turn causes a chronic inflammation of the skin which manifests itself first as redness and later as flaking and dryness of the skin.

Rys. 1. Przewlekłe zapalenie mieszków włosowych.

Fig. 1. Chronic folliculitis.

Rys. 2. Grzybica międzypalcowa stóp.

Fig. 2. Interdigital athlete's foot.

Rys. 3. Grzybica międzypalcowa stóp.

Fig. 3. Interdigital athlete's foot.

Rys. 4. Grzybica pachwin.

Fig. 4. Tinea inguinalis.

Rys. 5. Grzybicze zapalenie ucha zewnętrznego.

Fig. 5. Otitis externa.

Rys. 6. Kontaktowe zapalenie skóry.

Fig.6. Irritant contact dermatitis.

Rys. 7. Kontaktowe zapalenie skóry

Fig. 7. Irritant contact dermatitis.

Rys. 8. „Syndrom ręki nurka".

Fig. 8."Diver's hand syndrome".

Pielęgnacja skóry z tego typu zaburzeniami polega na właściwym nawilżeniu naskórka, które przywraca prawidłową fizjologię i elastyczność skóry oraz na uzupełnieniu bariery skórnej w czynniki ceramido-lipidotwórcze. Niezwykle ważną cechą takiej pielęgnacji jest także odtworzenie i utrzymanie zrównoważonej bariery mikrobiologicznej skóry, natychmiastowe działanie obniżające widoczność zmian zapalnych na skórze i przeciwdziałające świądowi, w czym podstawową rolę odgrywają odpowiednio dobrane składniki aktywne dermokosmetyków.

Umiejscowienie objawów najczęściej występujących dermatoz na ciele, w połączeniu ze znajomością warunków środowiskowych charakterystycznych dla prac podwodnych i hobby nurkowego/surferów

When faced with such disorders, proper skincare maintenance should consist in moisturising of the epidermis, which restores physiology and elasticity to the skin, as well as replenishing ceramide and lipid-forming factors in the skin barrier. It is also essential for such skincare to restore and maintain a balanced microbiological barrier of the skin, act promptly with a view to reducing the visible traces of inflammation on the skin, as well as to counteract pruritus. Basically, this may be facilitated by well-selected active ingredients of dermacosmetics. Accurate localisation of the most frequently occurring dermatoses on the body, in sync with the knowledge of environmental conditions that are typical for underwater works or divers'/surfers' hobbies, have helped to match correctly the SUBMARIMEN products, which ensure

pozwoliło na właściwy dobór rodzaju produktów w serii SUBMARIMEN, zapewniających kompleksową aktywną pielęgnację skóry z zaburzoną ciągłością bariery skórnej osób z problemami dermatologicznymi.

SERIA DERMATOKOSMETYKÓW SUBMARIMEN

Na potrzeby realizacji projektu opracowano zoptymalizowany pod względem skuteczności działania regenerującego, restrukturyzującego, prebiotycznego i anty-bakteryjnego, autorski kompleks składników aktywnych pochodzenia naturalnego:

Ekstrakt z liści drzewa herbacianego Tea Tree. Wysoka skuteczność przeciwbakteryjna, przeciwgrzybiczna i aktywność regeneracyjna dla bariery strukturalnej skóry przy jednocześnie znacząco obniżonej tendencji do działania drażniącego wskazała jednoznacznie na wybór ekstraktu w stosunku do olejku Tea Tree Oil jako właściwszy (działanie przeciw patogenom, nadzór nad właściwą regeneracją uszkodzeń mechanicznych skóry) [5,6,7].

Frakcja terpinen-4-olu, wyizolowana drogą specjalnej destylacji frakcyjnej z olejku z drzewa herbacianego. Frakcja ta wykazuje zdecydowanie najwyższą aktywność we wszystkich testach przeciwbakteryjnych i przeciwgrzybicznych na najczęściej występujące na skórze patogeny, a dodatkowo działa przeciwzapalnie (działanie przeciw patogenom, działanie przeciwzapalne) [8,9].

Synergiczny kompleks dwóch składników botanicznych: koncentratu manuka i ekstraktu z kory wierzby białej. Jest to roślinna substancja aktywna o właściwościach prebiotycznych, o potwierdzonej skuteczności i zdolności do zagwarantowania utrzymania równowagi mikroflory skóry, charakterystycznej dla skóry zdrowej (prebiotyk kosmetyczny, regeneracja) [10,11].

Skoncentrowany ekstrakt z rośliny himalajskiej Curculigo o potwierdzonej badaniami skuteczności regeneracji bariery skórnej, szczególnie po kontakcie z agresywnymi czynnikami zewnętrznymi, zaburzającymi homeostazę skóry. Umożliwia szybszą odbudowę właściwego pH, bariery oraz kohezji/integralności warstwy rogowej („szczelności") (regeneracja, restrukturyzacja) [12].

LINE OF SUBMARIMEN DERMACOSMETICS

For the sake of the project, an original composition of natural ingredients has been developed, which has been optimised in terms of regenerating, restructuring, and prebiotic as well as antibacterial qualities:

Extract from tea tree leaves. High antibacterial and antifungal effectiveness, as well as regenerative activeness for the structural barrier of the skin, with minimal tendency to irritate skin, have unambiguously facilitated the choice in favour of the extract over tea tree oil (anti-pathogen effect, responsible for the correct regeneration of physical damage to the skin) [5,6,7].

Fraction of terpinen-4-ol, isolated by means of special rectification from tea tree oil. This fraction has been by far the most active in all antibacterial and antifungal tests against pathogens most frequently occurring in the skin. In addition, it has anti-inflammatory properties (anti-pathogen and anti-inflammatory effect) [8,9].

Synergic composition of two botanical components: manuka concentrate and white willow bark extract. Active plant substance with prebiotic properties, confirmed efficacy and ability to guarantee balance of skin's microflora, typical in healthy skin (cosmetic prebiotic, regeneration) [10,11].

Concentrated extract from a Himalayan plant called Curculigo, whose efficacy at regenerating the skin barrier has been confirmed, especially on contact with aggressive external factors which upset homeostasis of the skin. It enables a much quicker restoration of the proper pH, the barrier, and the cohesion/integrity of the cornified layer ("tightness") (regeneration, restructuring) [12]. immediately and directly moisturizes skin.

Oil fraction obtained from a coastal halophyte plant *Salicornia herbacea* which (research showed growth of +6,000%!), increases the production of lipids in the epidermis, enhances cellular cohesion through vascularization of the aquaporin channels and the reduction of TEWL and TEUL (regeneration, restructuring) [9].

Frakcja olejowa pozyskiwana z nadbrzeżnej morskiej rośliny *Salicornia herbacea,* wpływająca na natychmiastowe i bezpośrednie nawilżenie skóry (w badaniach uzyskano wzrost na poziomie +6.000%!), zwiększająca produkcję lipidów w epidermie, poprawiająca kohezję komórkową poprzez uczynnienie kanałów aquaporynowych i ograniczenie TEWL i TEUL (regeneracja, restrukturyzacja) [9].

Aktywny kompleks 5 składników zostosowano w każdym z dermatokosmetyków serii SUBMARIMEN.

W skład bazowej serii dermatokosmetyków SUBMARIMEN wchodzą:

Special Hair&Body Shower Gel 3in1 - Specjalistyczny żel-szampon pod prysznic, do ciała i włosów; oparty całkowicie o składniki naturalne, w tym także naturalne środki powierzchniowo-czynne.

Prebiotic Hair Growth Stimulator - Odżywka do skóry głowy o działaniu antybakteryjnym, przeciw wypadaniu włosów.

Special SenseFeeling Body MEN Balm with UVA/UVB Filter - Nawilżająco-regenerujący balsam do ciała, z naturalnym aktywatorem syntezy feromonu, odpowiedzialnego za atrakcyjność seksualną mężczyzn. Zawiera składnik modelujący sylwetkę oraz filtr UVA/UVB.

Special Prebiotic Body Balm Muscle Enhancer with the Odor Filter - Nawilżająco-regenerujący, łagodzący balsam do ciała, wzmacniający mięśnie, z neutralizatorem nieprzyjemnego zapachu.

Anti-inflammatory Face& Topical Body DAY Cream SPF25 UVA/UVB - Regenerująco-restrukturyzujący i przeciw zaczerwienieniom krem do twarzy i lokalnie ciała, z filtrem SPF25 o wysokim stopniu ochrony.

Antibacterial Hand&Foot Prebiotic Special Cream - Antybakteryjny, restruktu-ryzujący krem do rąk i stóp o natychmiastowym działaniu zmiękczającym i obniżającym odczucia pozapalne.

Dermatokosmetyki serii SUBMARIMEN (Rys. 9)– ze względu na zdominowanie zawodu/hobby grup przeznaczenia - opracowane zostały dla dorosłych mężczyzn z uwzględnieniem odmiennej specyfiki skóry męskiej, w porównaniu do skóry kobiet. Natomiast dla skóry kobiet– bardzo suchej, wrażliwej, z objawami atopowego zapalenia skóry, skłonnej do alergii – polecamy zastosowanie wybranych kosmetyków

Each dermacosmetic of the SUBARIMEN line features an active complex of 5 ingredients.

Basic line of SUBMARIMEN dermacosmetics includes:

Special Hair&Body Shower Gel 3in1 **-** entirely based on natural ingredients, which also include natural surfactants/

Prebiotic Hair Growth Stimulator - a scalp conditioner which shows an antibacterial effect and prevents hair loss.

Special Sense Feeling Body MEN Balm with UVA/UVB Filter**-** moisturising and regenerating body balm with a natural activator of male pheromone production responsible for male sexual attractiveness. It contains a body-modelling ingredient and the UVA/UVB filter.

Special Prebiotic Body Balm Muscle Enhancer with Odour filter **-** moisturising, regenerating and soothing body balm with muscle-enhancing and odour-neutralizing properties**.**

Anti-inflammatory Face&Topical Body DAY Cream SPF25 UVA/UVB - regenerating and restructuring face and topical body cream with the SPF25 high-protection filter, helps to control redness.

Antibacterial Hand&Foot Prebiotic Special Cream - antibacterial and restructuring hand and foot cream has an instantaneous softening effect and alleviates post-inflammatory sensations.

Dermacosmetics of the SUBMARIMEN line (Fig. 9) - on account of a male-dominated profession/hobby target group - have been developed for adult males with consideration of a different nature of male skin as compared with female skin.

However, for female skin - very dry, sensitive, with symptoms of atopic dermatitis, prone to allergies - we recommend a selection of FERULASHI (Fig. 10) cosmetics - a line specially developed for beauty parlours. Some of its products might become useful in addressing skin conditions developed after prolonged exposure to water while surfing or diving.

z opracowanej serii gabinetowej FERULASHI (Rys. 10), której niektóre produkty mogą być pomocne w rozwiązaniu problemów skóry po nurkowaniu/surfingu i długotrwałym kontakcie z wodą.

Fig.9. Seria SUBMARIMEN.

Rys. 9. SUBMARIMEN line.

Fig. 10. Seria FERULASHI.

Rys. 10. FERULASHI line.

Podsumowując: ponieważ za wszystkie problemy dermatologiczno-estetyczne skóry osób uprawiających nurkowanie czy surfing odpowiada uszkodzenie bariery naskórkowej, jej regeneracja oraz cała procedura postępowania naprawczego wraz ze składami dermatokosmetyków SUBMARIMEN ukierunkowana została na przywrócenie homeostazy mikrobiologicznej oraz zrównoważenie mechanizmów metabolicznych zachodzących w skórze.

Nowością jest jednoczesne zastosowanie składników aktywnych o właściwościach antybakteryjnych, prebiotycznych i regenerująco-restrukturyzujących, o potwierdzonej badaniami skuteczności działania na patogeny, które powodują najczęściej występujące dermatozy skóry u nurków/surferów i osób mających długotrwały kontakt z wodą.

BADANIA *IN VITRO* SKUTECZNOŚCI ANTYBAKTERYJNEJ DERMATOKOSMETYKÓW SUBMARIMEN

Jak wspomniano powyżej - przy określeniu cech jakie powinny spełniać dermatokosmetyki serii SUBMARIMEN, wytypowano jako najważniejsze dwie, które uznano jako bezwzględne i podstawowe do spełnienia:

-zdolność natychmiastowego uzupełnienia i „uszczelnienia" składników warstwy rogowej oraz jej regeneracja,

-zdolność do przywrócenia równowagi w barierze mikrobiologicznej i prewencyjna

Conclusion: since the responsibility for all dermatological and aesthetic problems of the skin in surfers or divers lies with the damage of the epidermal barrier, its regeneration and the entire repair procedure, which involves the SUBMARIMEN dermacosmetics ingredients, have been guided on the recovery of microbiological homeostasis and the balancing the metabolic mechanisms occurring in the skin.

A new element, however, is a simultaneous application of active ingredients with antibacterial, prebiotic, regenerating and restructuring properties with a proven effect on pathogens that are most frequently responsible for the occurrence of dermatosis in divers/surfers and people exposed to a prolonged contact with water.

IN VITRO RESEARCH ON ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF SUBMARIMEN DERMACOSMETICS

As mentioned earlier, in order to determine what should characterize the line of SUBMARIMEN cosmetics, two properties that are deemed to be absolutely essential have been singled out:

- the ability to instantly replenish and "tighten" the lost components in the cornified layer and its regeneration,

- the ability to retrieve balance in the microbiological barrier, as well as preventive antibacterial protection.

Work that has been undertaken over

ochrona antybakteryjna.

W ramach dotychczasowych prac nad dermatokosmetykami SUBMARIMEN przeprowadzono badania *in vitro* w kierunku potwierdzenia skuteczności antybakteryjnej preparatów zawierających kompleks 5 aktywnych składników regenerująco-restrukturyzujących, prebiotycznych i antybakteryjnych, opracowany na potrzeby rozwiązywanego tematu .

Cel badania

Przeprowadzone badanie miało na celu określenie czy wybrany jako reprezentatywny dla serii SUBMARIMEN krem **Antibacterial Hand&Foot Prebiotic Special Cream** (zwany dalej w badaniu Hand & Foot) posiada właściwości inhibujące wzrost drobnoustrojów.

Metoda przeprowadzonego badania

Określenie efektu antybakteryjnego badanego materiału wykonano metodą posiewu powierzchniowego na podłożu agarowym wzbogaconym w badaną próbkę kremu.

Szczep testowy – w badaniu zastosowano szczep bakterii Gram(+) *Staphylococcus aureus* ATCC 27853

Materiały i odczynniki

A)Podłoża hodowlane:
- Agar TSA,
- Bulion odżywczy TSB,
- Sodium Chloride Buffored Peptone Broth.

B)Materiały do badań:
- próba kontrolna: ”H&F O” – krem Hand & Foot bez składników antybakteryjnych,
- próba badana: ”H&F” – krem Hand & Foot.

Przebieg badania

Dzień 1.

Założono hodowlę nocną : 20 ml bulionu TSB zaszczepiono 50 µl odmłodzonej hodowli *Staphylococcus aureus* , a następnie umieszczono w łaźni wodnej z wytrząsaniem, temp. 35ºC na całą noc. Przygotowanie podłoży do badania: na każdą szalkę Petriego wylano ok. 10 ml agaru TSA i pozostawiono do zżelowania.

Dzień 2.

W celu określenia najniższego antybakteryjnego stężenia kremu na cm^2 powierzchni, do wyjałowionego agaru TSA,

SUBMARIMEN dermacosmetics thus far has involved *in vitro* research guided on the confirmation of antibacterial efficacy in the preparations that contain a complex of 5 active prebiotic, antibacterial, regenerative and restructuring ingredients which have been developed for the purpose of the present study.

Research objective

The objective of the test herein conducted was to determine whether the **Antibacterial Hand & Foot Prebiotic Special Cream** (later referred to as Hand & Foot), being representative for the SUBMARIMEN line, possess properties that inhibit the growth of microbes.

Methodology of the research

The antibacterial effect of the material tested was determined using the method of surface culture on an agar medium enriched by a cream sample.

Test strain - the test featured a strain of Gram-positive *Staphylococcus aureus* ATCC 27853 bacteria

Materials and reagents

A)Growth mediums:
- Agar (TSA),
- Nutrient Broth (TSB),
- Sodium Chloride Buffered Peptone Broth.

B)Research materials:
- control sample: "H&F O" - Hand and Foot cream without antibacterial ingredients
- test sample: ”H&F” – Hand and Foot cream

Test description

Day 1.

Overnight the culture was started: 50 µl of rejuvenated *Staphylococcus aureus* culture was inoculated with 20 ml of TSB broth and then placed in a shaking water bath at 35ºC overnight.

Preparation of the medium: each Petri dish was filled with about 10 ml of agar (TSA) and left to jellify.

Day 2.

In order to determine the lowest concentration of the antibacterial cream per surface of 1 cm^2, different quantities of tested creams were added to sterile agar (TSA)

ochłodzonego do 45ºC dodano różne ilości badanych kremów. Dobrze zhomogenizowano i wylano po ok. 5 ml w ten sposób przygotowanego podłoża na każdą wcześniej przygotowaną szalkę Petriego, tak aby utworzyła się 1 mm warstwa agaru z kremem, imitująca skórę nawilżoną kremem, a następnie pozostawiono do zżelowania.

Na przygotowane w powyższy sposób szalki z agarem i badanym kremem posiano po100 µl seryjnych rozcieńczeń hodowli nocnej 10^{-5} i 10^{-6}, a potem inkubowano przez 24 godz. w temp. 35ºC.

Dzień 3.

Po zakończeniu czasu inkubacji określono ilość kremu na cm^2 powierzchni, która hamuje wzrost drobnoustrojów. Ocena polegała na policzeniu ilości kolonii bakteryjnych na płytkach i porównaniu próbek kontrolnych z próbkami badanymi

Opisane badanie powtórzono 3-krotnie.

Wyniki badań

Wpływ badanych stężeń kremu ”Hand & Foot” na siłę wzrostu szczepu bakterii *Staphylococcus aureus* ATCC 27853

cooled to 45ºC. Each pre-prepared Petri dish was filled with 5 ml of the thus prepared and well-homogenized medium, so that a 1 mm layer of agar with cream was formed, which imitated skin moisturized by cream, and then left to jellify.

In order to prepare the abovementioned dish with agar and the tested cream, 100 µl of 10^{-5} and 10^{-6} serial dilutions of overnight culture have been inoculated, and then incubated for 24 hours in 35ºC.

Day 3.

After 24 hours of incubation, an amount of cream that inhibits the growth of microbes per 1 cm^2 was determined. The evaluation consisted in counting the number of bacterial colonies on the dishes and comparing control samples with test samples

The said test was repeated three times.

Research results

Impact of the tested "Hand & Foot" cream concentrations on the strength of growth of the *Staphylococcus aureus* ATCC 27853 bacterial strain

Tab. 1.

Wyniki antybakteryjnego działania badanej próbki na Staphylococcus aureus.

Results of the antibacterial effect of the tested dish on Staphylococcus aureus.

Amount of cream per 1 cm^2 of the dish area	Number of bacterial colonies on the dishes*			
	HN *S.aureus* 10^{-5}		HN *S.aureus* 10^{-6}	
	H&F O	H&F	H&F O	H&F
3,5 µg	486 jtk	458 jtk	52 jtk	45 jtk
5,2 µg	434 jtk	448 jtk	46 jtk	43 jtk
7,0 µg	440 jtk	470 jtk	48 jtk	48 jtk
8,8 µg	478 jtk	462 jtk	49 jtk	49 jtk
10,5 µg	472 jtk	284 jtk	44 jtk	26 jtk

* average results from 3 measurements.

Wniosek

Przeprowadzone doświadczenie na szczepie *Staphylococcus aureus* ATCC 27853 wykazało efekt antybakteryjny badanej próbki kremu ”Hand & Foot” przy ilości 10,5µg/cm^2 powierzchni.

Conclusion

The experiment conducted on the strain *Staphylococcus aureus* ATCC 27853 has proved the antibacterial effect of the "Hand & Foot" cream sample with the amount of 10,5µg per 1 cm^2 of the area.

BIBLIOGRAPHY

1. Tlougan BE, Podjasek JO, Adams BB. Aquatic sports dermatoses: part 1. In the water: freshwater dermatoses. Int J Dermatol. 2010 Aug; 49(8):874-85, doi: 10.1111/j.1365-4632.2010.04536.x. ;
2. Tlougan BE, Podjasek JO, Adams BB. Aquatic sports dematoses. Part 2 - in the water: saltwater dermatoses. Int J Dermatol 2010 Sep;49(9):994-1002, doi: 10.1111/j.1365-4632.2010.04476.x.;
3. Tlougan BE, Podjasek JO, Adams BB. Aquatic sports dermatoses: Part 3. On the water. Int J Dermatol. 2010 Oct; 49(10):1111-20, doi: 10.1111/j.1365-4632.2010.04770.x. ;
4. Finkelstein R, Oren I.Soft Tissue Infections Caused by Marine Bacterial Pathogens. Epidemiology, Diagnosis, and Management. Curr Infect Dis Rep 2011 13:470-47, doi: 10.1007/s11908-011-0199-3. ;
5. Raman A , Weir U, Bloomfield SF. Antimicrobial Effects of Tea Tree Oil and its Major Components on Staphylococcus aureus, Staph epidermis and Propionibacterium acnes. Lett Appl Microbiol. 995 Oct;21(4):242-5;
6. Thomsen NA, Hammer KA, Riley TV, Van Belkum A, Carson CF. Effect of habituation to tea tree (Melaleuca alternifolia) oil on the subsequent susceptibility of Staphylococcus spp. to antimicrobials, triclosan, tea tree oil, terpinen-4-ol and carvacrol. Int J Antimicrob Agents 2013 Apr; 41 (4): 343-51;
7. Elgendy EA, Ali SA, Zineldeen DH. Effect of local application of tea tree (Melaleuca alternifolia) oil gel on long pentraxin level used as an adjunctive treatment of chronic periodontitis: A randomized controlled clinical study. J Indian Soc Periodontol. 2013 Jul;17(4):444-8;
8. Ninomiya K, Hayama K,Ishijima SA, Maruyama N, Irie H, Kurihara J, Abe S. Suppression of inflammatory reactions by terpinen-4-ol, a main constituent of tea tree oil, in a murine model of oral candidiasis and its suppressive activity to cytokine production of macrophages in vitro. Biol Pharm Bull. 2013;36(5):838-44;
9. Hart PH, Brand C, Carson CF, Riley TV, Prager RH, Finlay-Jones JJ. Terpinen-4-ol, the Main Component of the Essential Oil of Melaleuca alternifolia (Tea Tree Oil), Suppresses Inflammatory Mediator Production by Activated Human Monocytes.Inflamm Res. 2000 Nov;49(11):619-26;
10. Chen CC, Yan SH, Yen MY, Wu PF, Liao WT, Huang TS, Wen ZH , David Wang HM. Investigations of kanuka and manuka essential oils for in vitro treatment of disease and cellular inflammation caused by infectious microorganisms. J Microbiol Immunol Infect.2014 Feb 27. pii: S1684-1182(13)00246-6, doi: 10.1016/j.jmii.2013.12.009..
11. Müller P, Alber DG, Turnbull L, Schlothauer RC, Carter DA, Whitchurch CB, Harry EJ. Synergism between Medihoney and Rifampicin against Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus(MRSA). PLoS One. 2013;8(2):e57679;
12. Nie Y , Dong X, He Y,Yuan T, Han T, Rahman K, Qin L, Zhang Q. Medicinal plants of genus Curculigo: traditional uses and a phytochemical and ethnopharmacological review. J Ethnopharmacol. 2013 Jun 3;147(3):547-63, doi: 10.1016/j.jep.2013.03.066.

Люди, которые имеют длительный и частый контакт с водой, особенно водолазы и серфингисты, подвергаются дерматологическим проблемам, которые связаны с нарушением непрерывности или разрывом кожного барьера. В статье представлены наиболее распространенные виды заболеваний происходящие у лиц, которые имеют длительный контакт с водой, описаны также основные компоненты тестируемых дерматологических продуктов и приведена часть исследования. Исследование было проведено с целью определения, обладает ли серия косметических продуктов SUBMARIMEN свойствами, которые ингибируют рост микроорганизмов. Для этой цели использовано метод посева в агаровой среде с добавлением образца крема, который является представительной субстанцией тестируемой серии. Текущие результаты позволяют определить оптимальную концентрацию, которая обеспечивает свойства ингибирующие рост микроорганизмов и направить для проведения дальнейших исследований с использованием SUBMARIMEN, анализируемых увлажнение, смягчение, эластичность и pH кожи.

Ключевые слова: дерматозы у водолазов, дайвинг, серфинг, косметика для водолазов, профилактика дерматозов.

prof. dr hab. med. Romulad Olszański
Zakład Medycyny Morskiej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
tel./fax. 58/6264109
e-mail: romuald.olszanski@wp.pl

mgr biol. Małgorzata Dąbrowiecka
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
tel. 58/6264109

Agnieszka Kowalska
PROF.COSMETICA Sp. z o.o
Sierakowska 29
05-092 Łomianki

Łukasz Piwowarski
PROF.COSMETICA Sp. z o.o
Sierakowska 29
05-092 Łomianki

dr n. biol. Zbigniew Dąbrowiecki
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
tel: 604291581
e-mail: zdabrowiecki@wim.mil.pl

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

INHERENT UNSATURATION. THE RISK OF CENTRAL NERVOUS SYSTEM OXYGEN TOXICITY PART 1

INHERENTNE NIEDOSYCENIE. ZAGROŻENIE TLENOWĄ TOKSYCZNOŚCIĄ OŚRODKOWĄ CZ.1

ПРИСУЩЕЕ НЕДОСЫЩЕНИЕ. ОПАСНОСТЬ ТОКСИЧНОСТИ КИСЛОРОДА ДЛЯ ЦНС. ЧАСТЬ 1

Ryszard Kłos

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

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The pressures of inert gases in the tissues of a human organism are in a state of dynamic balance with air components being subject to the atmospheric pressure. However, there are differences between dynamic oxygen pressures in arterial vessels, venous vessels and the tissues. This phenomenon is commonly referred to as inherent unsaturation of an oxygen window.
The article is an introduction to a theory underlying estimations concerned with central nervous system oxygen toxicity, which will be described in a subsequent part.
Key words: inherent unsaturation, central nervous system oxygen toxicity.

Prężności gazów inertnych w tkankach organizmu ludzkiego są w stanie równowagi dynamicznej ze składnikami powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym. Istnieje jednak równowagowa, dynamiczna różnica pomiędzy prężnościami tlenu w naczyniach tętniczych, żylnych i tkankach. Zjawisko to jest często nazywane wrodzonym niedosyceniem lub popularnie okienkiem tlenowym.
Artykuł stanowi wstęp do teorii leżącej u podstaw szacowania ośrodkowej toksyczności tlenowej, która zostanie opisana w następnej części.
Słowa kluczowe: inherentne niedosycenie, tlenowa toksyczność ośrodkowa.

Парциальное давление инертных газов в тканях человеческого организма находится в состоянии динамического равновесия с компонентами воздуха при атмосферном давлении. Однако существует равновесная, динамическая разность между напряжением кислорода в артериях, венах и тканях. Это явление часто называют врожденным недосыщением или, популярно, кислородное окно.
Статья представляет собой введение в теорию, в основе которой лежит оценка кислородной токсичности ЦНС, которая будет описана в следующем разделе.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: **ПРИСУЩИЕ НЕДОСЫЩЕНИЕ, КИСЛОРОДНАЯ ТОКСИЧНОСТ**Ь ЦНС.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 37 – 64
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.
Pages: 29 , figures: 8, tables: 5.
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

OKIENKO TLENOWE

Znaczna część tlenu z płuc przechodzi do układu krążenia, lecz tylko jego część ulega reakcjom metabolicznym. Ta część, która wchodzi w reakcje metaboliczne[1] zmniejszając prężność tlenu[2] rozpuszczonego we krwi znana jest pod pojęciem *okienka tlenowego*[3]. Porównując poziomy prężności gazów w obiegu żylnym i tętniczym, sumaryczna luka prężności w warunkach normalnych kształtuje się na poziomie $8–13\%$ [1]. Przede wszystkim, odpowiedzialnymi za zmniejszenie prężności gazów w organizmie są reakcje tlenu prowadzące do powstania wody, która w tych warunkach występuje nie tylko jako para wodna, lecz także w formie skondensowanej[4]. Tlen przechodzi z krwi tętniczej do tkanek, gdzie jest zużywany pozostawiając po sobie wspomnianą wcześniej lukę prężności. Podczas oddychania powietrzem przy ciśnieniu atmosferycznym prężność cząstkowa tlenu we krwi tętniczej wynosi ok. $\pi_{O_2} \cong 100\ mmHg$. Podczas krążenia krwi, poziom prężności tlenu obniża się osiągając w kapilarach żylnych ok. $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$[5] – tab. 1.

Stosując tlen, jako czynnik oddechowy w końcowej fazie dekompresji można wywołać powiększenie luki prężności $\Delta\pi$ powodując tym skrócenie czasu dekompresji, gdyż tlen będzie wymywał gazy inertne z tkanek, gdzie jest on stosunkowo szybko metabolizowany.

[1]przemiany biochemiczne i towarzyszące im przemiany energii, zachodzące w komórkach żywych organizmów i stanowiące podłoże wszelkich zjawisk biologicznych,
[2]tworząc lukę ciśnieniową,
[3]zazwyczaj odejmuje się od wartości okienka tlenowego prężność CO_2 zaś nie uwzględnia się prężności pary wodnej uważając ją za wartość stałą,
[4]ciekłej lub związanej,
[5]okienko tlenowe wyniesie ok. $\Delta\pi \cong 60\ mmHg$ i będzie dostępne do transportu gazów inertnych,

OXYGEN WINDOW

A significant part of oxygen is transitioned from the lungs into the circulatory system; however, only its small part is subject to metabolic reactions. The part that enters into metabolic reactions[1] thus reducing the pressure of oxygen[2] diluted in the blood is known as an *oxygen window*[3]. The comparison of the pressures of gases present, in venous and arterial circulation, shows that the total pressure gap in regular conditions reaches the level of $8–13\%$ [1]. The factors mainly responsible for a reduction in the pressure of gases in an organism are the oxygen reactions leading to the production of water, which is present in such conditions not only as vapour but also in a condensed form[4]. The oxygen moves from arterial blood to tissues where it is used, leaving behind the already mentioned pressure gap. When breathing with air at atmospheric pressure, the oxygen partial pressure in arterial blood amounts to approx. $\pi_{O_2} \cong 100\ mmHg$. During the blood's circulation, the level of oxygen pressure is reduced, reaching in venous capillaries ca. $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$[5] – tab.1.

When using oxygen as a breathing mix, the pressure gap $\Delta\pi$ may be increased in the final decompression phase, thus causing shortening of the decompression time, as oxygen will wash inert gases out of the tissues, i.e. from the place where it is relatively quickly metabolised.

[1] biochemical transformations with accompanying energy transformations occurring in the cells of living organisms and providing the basis for all biological phenomena,
[2] thus creating a pressure gap,
[3] commonly the value of CO_2 pressure is subtracted from the oxygen window value, whereas the pressure of water vapour is omitted as it is concerned as a constant value,
[4] liquid or bounded,
[5] the oxygen window will reach ca. $\Delta\pi \cong 60\ mmHg$ and will be available for the transportation of inert gases,

Tab. 1

Ciśnienia cząstkowe gazów oddechowych [2].

Partial pressures of respiratory gases [2].

Gas type	Partial pressure of a gas [$mmHg$]					
	Inhaled air	Alveolar air	Arterial blood	Tissues	Venous blood	Exhaled air
Oxygen	158.0	100.0	95.0	40.0	40.0	116.0
Carbon dioxide	0.3	40.0	40.0	46.0	46.0	32.0
Nitrogen	596.0	573.0	573.0	573.0	573.0	565.0
Water vapour	5.7	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0

MIOGLOBINA I HEMOGLOBINA

Ważnym odkryciem w biochemii było poznanie struktury przestrzennej dwóch białek: mioglobiny i hemoglobiny. Główną funkcją mioglobiny jest magazynowanie tlenu w mięśniach poprzecznie prążkowanych[6] a hemoglobiny, magazynowanie i przenoszenie tlenu przez krew. Magazynowanie tlenu przez mioglobinę Mb opisuje dobrze model matematyczny kinetyki reakcji enzymatycznej, zaproponowany przez *Leonor Michaelis* i *Maud Menten*. Forma algebraiczna znana jest, jako *równanie Michaelisa–Menten*. Proces magazynowania tlenu przebiega z etapem pośrednim tworzenia kompleksu mioglobiny z tlenem MbO_2 po czym następuje uwolnienie tlenu do tkanek O_2^* z odtworzeniem cząsteczki mioglobiny Mb:

$$Mb + O_2 \underset{k_1'}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} MbO_2 \xrightarrow{k_2} Mb + O_2^* \quad (1)$$

Na istnienie stanu przejściowego[7] wskazuje fakt wysycania Mb w obecności wysokiego stężenia O_2[8] będącego efektem wykorzystania wszystkich miejsc,

[6] mioglobina tworzy swoisty magazyn tlenu wykorzystywany przy skurczu mięśnia, szczególnie w warunkach istnienia tzw. długu tlenowego, zwierzęta nurkujące posiadają zwiększone ilości mioglobiny

[7] w postaci kompleksu MbO_2,

[8] oznacza to, że na początku zwiększania stężenia O_2 występuje wzrost szybkości wiązania O_2 przez Mb do kompleksu MbO_2, jednak po przekroczeniu pewnego stężenia granicznego, dalsze zwiększanie stężenia O_2 nie przyspiesza już powstawania kompleksu MbO_2,

MYOGLOBIN AND HAEMOGLOBIN

The recognition of the spatial structure of two proteins: myoglobin and haemoglobin constituted an important discovery in the field of biochemistry. The main function of myoglobin consists in storing oxygen in striated muscles[6], whereas haemoglobin is responsible for both oxygen storage as well as its transportation in the blood. Oxygen storage by myoglobin Mb is well depicted with a mathematical model regarding the kinetics of enzymatic reactions proposed by *Leonor Michaelis* and *Maud Menten*. Its algebraic formula is known as the *Michaelis–Menten equation*. The process of oxygen storage occurs with an indirect phase of production of a complex of myoglobin and oxygen MbO_2, which is followed by a release of oxygen into tissues, O_2^* , with the reconstruction of myoglobin molecule Mb:

$$Mb + O_2 \underset{k_1'}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} MbO_2 \xrightarrow{k_2} Mb + O_2^* \quad (1)\ (1)$$

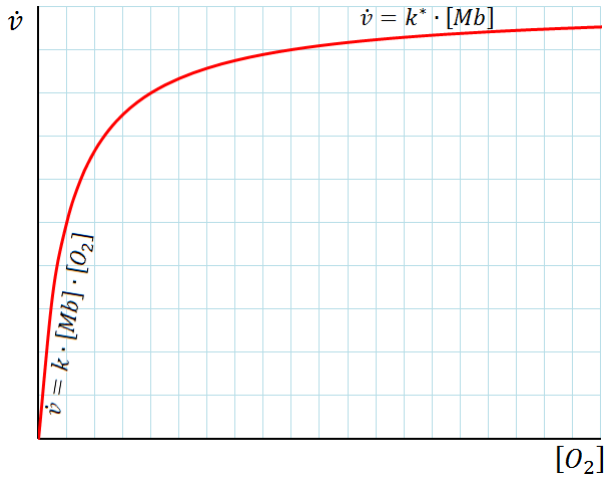
The existence of a transition state[7] is indicated by the fact of Mb saturation in the presence of high O_2 pressure[8] resulting from its

[6] myoglobin creates a peculiar oxygen storage used in muscle contractions; in particular in the presence of the so-called oxygen debt, diving animals reveal increased levels of myoglobin,

[7] in the form of MbO_2 complex,

[8] this means that during the initial increase in O_2 pressure, binding of O_2 by Mb into the complex MbO_2 is accelerated; however, after exceeding a certain pressure limit, further increase of O_2 pressure does not cause a proceeding acceleration in forming MbO_2 complex,

filling of all the active places within the structure,



Rys. 1. Zależność szybkości reakcji dysocjacji $\dot{v}$ kompleksu mioglobina−tlen od stężenia tlenu $[O_2]$.

Fig. 1. Interrelation between the speed of dissociation $\dot{v}$ in the myoglobin−oxygen complex and oxygen concentration $[O_2]$.

aktywnych w strukturze Mb[9] – rys. 1. Wówczas, kolejne kompleksy MbO_2 mogą być tworzone tylko po rozpadzie już istniejących. Istnienie kompleksu MbO_2 zostało wykazane także innymi metodami [3].

Podczas dalszych rozważań w nawiasach kwadratowych zaznaczono stężenia poszczególnych związków chemicznych: $[Mb]$ −stężenie mioglobiny, $[O_2]$ −stężenie tlenu, $[MbO_2]$ −stężenie kompleksu mioglobiny z tlenem.

Z przedstawionego na rys. 1 modelu *Michaelisa–Menten* widać, że w początkowej fazie, dla niskich stężeń tlenu $[O_2]$, szybkość reakcji $\dot{v}$ jest proporcjonalna do stężenia mioglobiny $[Mb]$ jak i stężenia tlenu $[O_2]$: $\dot{v} = k \cdot [Mb] \cdot [O_2]$, gdzie: k jest stałą szybkości reakcji $[dm^6 \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}]$. Przy wyższych stężeniach tlenu $[O_2]$, ze względu na jego nadmiar, szybkość reakcji $\dot{v}$ zaczyna zależeć jedynie od stężenia mioglobiny $[Mb]$: $\dot{v} = k^* \cdot [Mb]$, gdzie k^* jest stałą dla maksymalnej szybkości reakcji $[dm^3 \cdot s^{-1}]$.

of Mb[9] – fig.1. In such a case, more MbO_2 complexes may be produced only after the disintegration of the existing ones. The existence of the MbO_2 complex has also been proven with other methods [3].

Further considerations allowed us to indicate the concentrations of particular chemical compounds in brackets: $[Mb]$ − myoglobin concentration, $[O_2]$ − oxygen conentration, $[MbO_2]$ −myoglobin-oxygen complex concentration.

In the *Michaelis–Menten* model presented in fig. 1 we may see that in the initial phase, with low oxygen concentrations $[O_2]$ −, the reaction rate $\dot{v}$ is proportional to the concentration of both myoglobin $[Mb]$ and oxygen $[O_2]$ −: $\dot{v} = k \cdot [Mb] \cdot [O_2]$, where: k is a reaction constant $[dm^6 \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}]$. With higher oxygen concentrations $[O_2]$, due to its excess, the reaction rate $\dot{v}$ begins to be entirely dependent on myoglobin concentration $[Mb]$: $\dot{v} = k^* \cdot [Mb]$,, where k^* is a constant for the maximum reaction rate $[dm^3 \cdot s^{-1}]$.

[9]w tym momencie szybkość reakcji $\dot{v}$ tworzenia kompleksu MbO_2 zależy jedynie od stężenia mioglobiny Mb: $\dot{v} = k \cdot [Mb]$,

[9] at this point the reaction rate $\dot{v}$ in the formation of MbO_2 complex depends only on myoglobin concentration Mb: $\dot{v} = k \cdot [Mb]$,

Zgodnie z założeniami modelu (1), po reakcji tworzenia kompleksu MbO_2, następuje jego rozpad i przekazanie tlenu do tkanek O_2^*, oraz odtworzenie cząsteczki mioglobiny Mb. Szybkości poszczególnych reakcji $\dot{v}$ dla sumarycznej reakcji chemicznej (1) można zapisać, jako: $\dot{v}_1 = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2]$, $\dot{v}_1' = k_1' \cdot [MbO_2]$ i $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]$. Poprzez k oznaczono stałe szybkości reakcji zgodnie z wcześniej przyjętymi oznaczeniami dla sumarycznej reakcji chemicznej (1). Sumaryczną szybkość wiązania mioglobiny można zapisać, jako:

$-\frac{\partial[Mb]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2] - k_1' \cdot [MbO_2]$

gdzie, t oznacza czas. Szybkość przekazywania tlenu do komórek tkanek zgodnie z (1) wynosi: $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]$ a stąd szybkość zmiany stężenia kompleksu $[MbO_2]$ można zapisać, jako:

$-\frac{\partial[MbO_2]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' - \dot{v}_2 = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2] - k_1' \cdot [MbO_2] - k_2 \cdot [MbO_2]$

Dla stanu stacjonarnego szybkość zmiany stężenia kompleksu $[MbO_2]$ będzie równa zeru $-\frac{\partial[MbO_2]}{\partial t} = 0$ a sumaryczna zawartość mioglobiny $[Mb]_0$ w układzie stacjonarnym będzie sumą stężeń formy związanej $[MbO_2]$ i wolnej $[Mb]$: $[Mb]_0 = [MbO_2] + [Mb]$. Korzystając z tych kalkulacji można stężenie kompleksu $[MbO_2]$ zapisać, jako:

(2)

$$[MbO_2] = \frac{k_1 \cdot [O_2]}{k_2 + k_1' + k_1 \cdot [O_2]} \cdot [Mb]_0$$

gdzie: $[MbO_2]$ – stężenie formy utlenionej mioglobiny $[mol \cdot dm^{-3}]$, $[Mb]_0$ – całkowite stężenie mioglobiny w formie związanej i wolnej razem $[mol \cdot dm^{-3}]$, $[O_2]$ – stężenie tlenu $[mol \cdot dm^{-3}]$, k_1 – szybkość reakcji tworzenia formy związanej mioglobiny MbO_2 $[dm^6 \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}]$, k_1' – szybkość reakcji rozpadu formy związanej mioglobiny MbO_2 $[dm^3 \cdot s^{-1}]$, k_2 – szybkość reakcji oddawania tlenu do komórek tkankowych przez formę związaną mioglobiny MbO_2 $[dm^3]$.

Wstawiając równanie (2) do zależności opisującej szybkość oddawania tlenu do tkanek: $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]$, można otrzymać model algebraiczny szybkości reakcji oddawania

In accordance with the assumptions behind the model (1), after the reaction resulting in the formation of MbO_2 complex, it is disintegrated and oxygen is passed on to tissues O_2^* and the myoglobin molecule Mb is reconstructed. The rates of particular reactions $\dot{v}$ for the chemical reaction (1) may be expressed as: $\dot{v}_1 = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2]$, $\dot{v}_1' = k_1' \cdot [MbO_2]$ and $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]Ks$ indicate reaction rate constants in accordance with previously adopted markings for the summary chemical reaction (1). Summary rate of myoglobin binding may be represented as: $-\frac{\partial[Mb]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2] - k_1' \cdot [MbO_2]$

where t stands for time. According to (1) the speed of oxygen's passage to tissue cells is equal to: $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]$, hence the rates in the concentration changes of the complex $[MbO_2]$ may be expressed as:

$-\frac{\partial[MbO_2]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' - \dot{v}_2 = k_1 \cdot [Mb] \cdot [O_2] - k_1' \cdot [MbO_2] - k_2 \cdot [MbO_2]$.

In a steady state, the rate of changes in the concentration of the complex $[MbO_2]$ will be equal to zero $-\frac{\partial[MbO_2]}{\partial t} = 0$, whereas the summary content of myoglobin $[Mb]_0$ in a steady system will be the sum of concentrations of the bound form of $[MbO_2]$ and the free form $[Mb]$: $[Mb]_0 = [MbO_2] + [Mb]$. Using these calculations it is possible to express the concentration of the complex $[MbO_2]$ as follows:

(2) (2)

$$[MbO_2] = \frac{k_1 \cdot [O_2]}{k_2 + k_1' + k_1 \cdot [O_2]} \cdot [Mb]_0$$

where: $[MbO_2]$ – concentration of oxygenated myoglobin $[mol \cdot dm^{-3}]$, $[Mb]_0$ – total concentration of myoglobin in the bound and free form, jointly $[mol \cdot dm^{-3}]$, $[O_2]$ – oxygen concentration $[mol \cdot dm^{-3}]$, k_1 – reaction rate connected with the formation of the bound form of myoglobin MbO_2 $[dm^6 \cdot mol^{-1} \cdot s^{-1}]$, k_1' – disintegration rate of bound myoglobin MbO_2 $[dm^3 \cdot s^{-1}]$, k_2 – rate of oxygen's passage to tissue cells by bound myoglobin MbO_2 $[dm^3]$.

When we insert equation (2) into the relation defining the rate of oxygen's passage into tissues: $\dot{v}_2 = k_2 \cdot [MbO_2]$, it will be possible to obtain an algebraic model of the rate of reaction of oxygen release by myoglobin:

tlenu przez mioglobinę:

$$\dot{v}_2 = \dot{v} = \frac{k_1 k_2 [O_2]}{k_2 + k_2' + k_1 [O_2]} \cdot [Mb]_0.$$

Po podzieleniu licznika i mianownika przez $k_1 \cdot [O_2]$ i podstawieniu $K_M = \frac{k_2 + k_2'}{k_1}$, można zapisać: $\dot{v}_2 = \dot{v} = \{k_2 \cdot [Mb]_0\} : \{\frac{K_M}{[O_2]} + 1\}$. Wartość K_M nazywana jest *stałą Michaelisa*[10]. Gdy wartość K_M jest znacznie mniejsza niż wartość stężenia tlenu $[O_2] \gg K_M$, to ułamek $\frac{K_M}{[O_2]}$ dąży do zera a szybkość $\dot{v}_2$ osiągnie w tym przypadku wartość maksymalną: $\dot{v}_{max} = k_2 \cdot [Mb]_0$, gdyż cała mioglobina zostanie związana na kompleks z tlenem MbO_2. Stąd można zapisać *równanie Michaelisa–Menten* w zastosowaniu do modelowania procesu oddawania tlenu przez Mb, jako:

(3)

$$\exists_{[O_2] \gg K_M} \quad \dot{v} = \frac{\dot{v}_{max}}{\frac{K_M}{[O_2]} + 1} \quad \Rightarrow \quad \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]}{K_M + [O_2]}$$

gdzie: $\dot{v}$ – szybkość procesu przekazywania tlenu $[mol \cdot s^{-2}]$, $\dot{v}_{max}$ – maksymalna szybkość procesu przekazywania tlenu $[mol \cdot s^{-2}]$, $[O_2]$ – stężenie tlenu $[mol \cdot dm^{-3}]$, K_M – stała Michaelisa $[mol \cdot dm^{-3}]$.

POWINOWACTWO DO TLENU I STOPIEŃ WYSYCENIA

Stopień wysycenia mioglobiny przez tlen x_{O_2} można określić, jako stosunek stężenia kompleksu $[MbO_2]$ do całkowitego stężenia mioglobiny $[Mb]_0 = [MbO_2] + [Mb]$: $x_{O_2} = \frac{[MbO_2]}{[MbO_2] + [Mb]}$. Zgodnie z przedstawioną analizą sytuacji problemowej, stopień wysycenia x_{O_2} będzie proporcjonalny do stosunku szybkości reakcji $\dot{v}$ wiązania tlenu przez Mb do jej maksymalnej wartości $\dot{v}_{max}$: $x_{O_2} = \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}}$. Celem uproszczenia dalszej analizy wygodnie będzie zdefiniować tzw. powinowactwo Mb do tlenu[11] P_{50}, jako prężność cząstkową tlenu π_{O_2},

[10]jak to będzie pokazane dalej *stała Michaelisa* jest to takie stężenie tlenu, przy którym szybkość reakcji wiązania tlenu $\dot{v}$ jest równa połowie szybkości maksymalnej $\dot{v} = 0{,}5 \cdot \dot{v}_{max}$ – powinowactwo do tlenu P_{50},

[11]zdolność mioglobiny do tworzenia kompleksu z tlenem,

$$\dot{v}_2 = \dot{v} = \frac{k_1 k_2 [O_2]}{k_2 + k_2' + k_1 [O_2]} \cdot [Mb]_0.$$

After the division of the numerator and the denominator by $k_1 \cdot [O_2]$ and substitution of $K_M = \frac{k_2 + k_2'}{k_1}$, we may write it down as: $\dot{v}_2 = \dot{v} = \{k_2 \cdot [Mb]_0\} : \{\frac{K_M}{[O_2]} + 1\}$. K_M is called the *Michaelis constant*[10]. When the K_M value is significantly lower than oxygen concentration $[O_2] \gg K_M$, then the fraction $\frac{K_M}{[O_2]}$ will aim towards zero and the reaction rate $\dot{v}_2$ will reach the maximum value of: $\dot{v}_{max} = k_2 \cdot [Mb]_0$, since the entire myoglobin will be bounded into a complex with oxygen MbO_2. Hence, the *Michaelis–Menten equation* applied in modelling the process of oxygen release by Mb will be expressed as:

(3)

$$\exists_{[O_2] \gg K_M} \quad \dot{v} = \frac{\dot{v}_{max}}{\frac{K_M}{[O_2]} + 1} \quad \Rightarrow \quad \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]}{K_M + [O_2]}$$

(3)

where: $\dot{v}$ – oxygen passage rate $[mol \cdot s^{-2}]$, $\dot{v}_{max}$ – maximum oxygen passage rate $[mol \cdot s^{-2}]$, $[O_2]$ – oxygen concentration $[mol \cdot dm^{-3}]$, K_M – *Michaelis constant* $[mol \cdot dm^{-3}]$.

AFFINITY FOR OXYGEN AND SATURATION LEVEL

The level of myoglobin saturation with oxygen x_{O_2}may be defined as a ratio of the concentration of the complex $[MbO_2]$ to the total myoglobin concentration $[Mb]_0 = [MbO_2] + [Mb]$: $x_{O_2} = \frac{[MbO_2]}{[MbO_2] + [Mb]}$.

In concord with the presented analysis of a problem situation, the saturation level x_{O_2} will be proportionate to the ratio of the rate $\dot{v}$ of oxygen binding by Mb to its maximum value $\dot{v}_{max}$: $x_{O_2} = \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}}$. For the purpose of simplification of further analysis, it will be convenient to define the so-called Mb affinity for oxygen[11] P_{50} as oxygen partial pressure π_{O_2},

[10] as it will be shown later, *the Michaelis constant* stands for such an oxygen concentration with which the reaction rate of oxygen binding $\dot{v}$ is equal to half the maximum rate $\dot{v} = 0{,}5 \cdot \dot{v}_{max}$ – with the affinity for oxygen P_{50},

[11] the capability of myoglobin to form a complex with oxygen,

przy której wysycenie mioglobiny x_{O_2} będzie wynosiło połowę maksymalnej wartości[12] $x_{O_2} = 0{,}5\ mol \cdot mol^{-1}$: $P_{50} \equiv \pi_{O_2}(x_{O_2} = 0{,}5)$.

Po pomnożeniu licznika i mianownika prawej strony równania (3) przez prężność całkowitą gazów we krwi π można zapisać: $\frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{\pi[O_2]}{\pi K_M + \pi[O_2]} = \frac{\pi_{O_2}}{\pi K_M + \pi_{O_2}}$. Przyjmując $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$ stopień wysycenia x_{O_2} dla Mb wyniesie: $x_{O_2} = \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{\dot{v}}{2 \cdot \dot{v}} = 0{,}5$. Korzystając z definicji powinowactwa P_{50} można zapisać: $\frac{P_{50}}{\pi K_M + P_{50}} = 0{,}5 \Rightarrow \pi \cdot K_M = P_{50}$. Zatem, *stała Michaelisa* K_M w zależności (3) określająca powinowactwo mioglobiny do tlenu[13] może być zastąpiona wartością powinowactwa do tlenu dla mioglobiny $P_{50}(Mb) \leftarrow K_M$ wtedy, gdy stężenie tlenu $[O_2]$ zastąpione będzie jego prężnością cząstkową $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$:

(4)

$$\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}}\ x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}}{\pi_{O_2} + P_{50}}$$

gdzie: P_{50} – powinowactwo Mb do tlenu $[Pa]$, x_{O_2} – wysycenie hemoglobiny tlenem $[mol \cdot mol^{-1}]$, π_{O_2} – prężność tlenu $[Pa]$.

Wykres modelu algebraicznego wysycenia mioglobiny Mb tlenem[14] (4) jest hiperbolą –rys. 2 i rys. 3b. Model ten został walidowany doświadczalnie z określeniem wartości powinowactwa do tlenu dla mioglobiny $P_{50}(Mb) = 1\ mmHg$, przy ścisłym pokrywaniu się modelu teoretycznego z krzywą doświadczalną [3].

MODEL SIGMOIDALNY HILLA

Archibald Hill postulował, że proces wiązania tlenu z hemoglobiną Hb można zapisać w postaci reakcji:

[12] stała Michaelisa z równania (3) dla $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$ będzie równa $K_M = \frac{2\cdot\dot{v}}{\dot{v}} \cdot [O_2] - [O_2] = [O_2]$,

[13] im jest mniejsza, tym powinowactwo jest większe, natomiast duża wartość tej stałej mówi o małym powinowactwie do tlenu,

[14] model dysocjacji kompleksu $mioglobina - tlen$,

with which myoglobin saturation x_{O_2} will reach half of the maximum value[12] of $x_{O_2} = 0.5\ mol \cdot mol^{-1}$: $P_{50} \equiv \pi_{O_2}(x_{O_2} = 0.5)$.

After the multiplication of the numerator and the denominator of the right side of the equation (3) by the total pressure of gases present in the blood π we may write down the following: $\frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{\pi[O_2]}{\pi K_M + \pi[O_2]} = \frac{\pi_{O_2}}{\pi K_M + \pi_{O_2}}$. Assuming that $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$, the saturation level of x_{O_2} for Mb will reach: $x_{O_2} = \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{\dot{v}}{2 \cdot \dot{v}} = 0.5$. Using the definition of P_{50} affinity we may express what follows: $\frac{P_{50}}{\pi K_M + P_{50}} = 0.5 \Rightarrow \pi \cdot K_M = P_{50}$. Thus, the *Michaelis constant* K_M included in the equation (3), determining myoglobin's affinity for oxygen[13] may be replaced with the value of affinity for oxygen of $P_{50}(Mb) \leftarrow K_M$ when oxygen concentration $[O_2]$ will be replaced with the partial pressure of $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$:

(4)

$$\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}}\ x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}}{\pi_{O_2} + P_{50}}$$

where: P_{50} – Mb affinity for oxygen $[Pa]$, x_{O_2} – saturation of haemoglobin with oxygen $[mol \cdot mol^{-1}]$, π_{O_2} – oxygen pressure $[Pa]$.

The diagram of the algebraic model representing myoglobin Mb saturation with oxygen[14] (4) takes the form of a hyperbola –fig. 2 and fig. 3b. The model has been validated through experimentation with the definition of oxygen affinity for myoglobin of $P_{50}(Mb) = 1\ mmHg$, and with a complete convergence of the theoretical model and the experimental curve [3].

HILL'S SIGMOIDAL MODEL

Archibald Hill postulated that the process of oxygen binding with haemoglobin Hb could be expressed in the form of the following reaction:

[12] the *Michaelis constant* from equation (3) with $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$ will be equal to $K_M = \frac{2\cdot\dot{v}}{\dot{v}} \cdot [O_2] - [O_2] = [O_2]$,

[13] the smaller it is the greater the affinity, whereas a large value of the constant signals low affinity for oxygen,

[14] a dissociation model for the complex $myoglobin - oxygen$,

Tab. 2

Wyprowadzenie *równania Hilla* zgodnie z reakcją (5).

Derivation of Hill's equation according to reaction (5).

Specification	Equation
oxygen binding rate by Hb	$\dot{v}_1 = k_1 \cdot [Hb] \cdot [O_2]^n$
$Hb(O_2)_n$ complex disintegration	$\dot{v}_1' = k_1' \cdot [Hb(O_2)_n]$
oxygen transfer into cells by $Hb(O_2)_n$ complex	$\dot{v}_2 = k_2 \cdot [Hb(O_2)_n]$
summary Hb binding rate	$-\frac{\partial [Hb]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' = k_1 \cdot [Hb] \cdot [O_2]^n - k_1' \cdot [Hb(O_2)_n]$
summary rate of concentration changes of the complex $Hb(O_2)_n$	$-\frac{\partial [Hb(O_2)_n]}{\partial t} = \dot{v}_1 - \dot{v}_1' - \dot{v}_2 = k_1 \cdot [Hb] \cdot [O_2]^n - k_1' \cdot [Hb(O_2)_n] - k_2 \cdot [Hb(O_2)_n]$
for steady state	$-\frac{\partial [Hb(O_2)_n]}{\partial t} \equiv 0 \ \wedge \ [Hb]_0 \stackrel{def}{\equiv} [Hb(O_2)_n] + [Hb]$
	$[Hb(O_2)_n] = \frac{k_1 \cdot [O_2]^n}{k_1' + k_2 + k_1 \cdot [O_2]^n} \cdot [Hb]_0$
oxygen transfer rate into cells through the complex $Hb(O_2)_n$	$\dot{v}_2 = k_2 \cdot [Hb(O_2)_n] = k_2 \cdot \frac{k_1 \cdot [O_2]^n}{k_1' + k_2 + k_1 \cdot [O_2]^n} \cdot [Hb]_0 \quad / k_1 \cdot [O_2]^n$
	$\dot{v}_2 = \frac{k_2}{\frac{k_1' + k_2}{k_1 \cdot [O_2]^n} + k_1 \cdot [O_2]^n} \cdot [Hb]_0 \quad / K \stackrel{def}{\equiv} \frac{k_1' + k_2}{k_1}$
	$\dot{v}_2 = \frac{k_2}{\frac{K}{[O_2]^n} + 1} \cdot [Hb]_0$
the condition for maximisation of oxygen transfer rate	$lim_{K/[O_2]^n \to 0} \quad \dot{v}_2 = \dot{v}_{max} = k_2 \cdot [Hb]_0$
the rate of oxygen transfer into cells through the complex $Hb(O_2)_n$	$\dot{v} \stackrel{def}{\equiv} \dot{v}_2 = \frac{\dot{v}_{max} \cdot [O_2]^n}{K + [O_2]^n}$

(5)

$$Hb + n \cdot O_2 \; {}_{k_1'}\!\rightleftharpoons^{k_1} Hb(O_2)_n \rightarrow^{k_2} Hb + n \cdot O_2^*$$

co prowadzi do innej niż (3) formy matematycznego modelu algebraicznego zwanego *równaniem Hilla*: $\exists_{[o_2] \gg K} \quad \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]^n}{K + [O_2]^n}$ – tab.1.

Równanie Hilla można podobnie jak poprzednio zapisać jako funkcję wysycenia hemoglobiny tlenem $x_{O_2} \leftarrow \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}}$ od prężności cząstkowej tlenu $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$ i powinowactwa Hb do tlenu $P_{50}^n(Hb) \leftarrow K$ w postaci[15]:

$\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}} \; x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}^n}{\pi_{O_2}^n + P_{50}^n}$, lub w formie równoważnej:

(6)

$$\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}} \; \frac{x_{O_2}}{1 - x_{O_2}} = \left(\frac{\pi_{O_2}}{P_{50}}\right)^n \Leftrightarrow x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}^n}{\pi_{O_2}^n + P_{50}^n}$$

Wykres dla algebraicznego modelu wysycenia Hb tlenem[16] (6) ma kształt sigmoidalny i został walidowany doświadczalnie z określeniem wartości powinowactwa Hb do tlenu $P_{50}(Hb) = 26\,mmHg$ oraz *współczynnika Hilla*[17] $n_{Hb} = 2{,}8$ [3,4]. W*spółczynnik Hilla* dla mioglobiny Mb wynosi $n_{Mb} = 1$ [3]. Wykresy dla modeli algebraicznych dysocjacji kompleksów *mioglobina–tlen* i *hemoglobina–tlen* przedstawiono na rys. 1.

Większa wartość w*spółczynnika Hilla* dla Hb nazywana jest kooperatywnością wiązania O_2 przez Hb, czyli związanie O_2 z jednym hemem ułatwia wiązanie O_2 w tym samym tetrametrze hemu [5]. Gdyby założyć, że Mb będzie uczestniczyła przy przenoszeniu

[15] podstawiając do równania $\frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]^n}{K + [O_2]^n}$ wartości $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$ można obliczyć stałą K, która będzie równa $K = \left(\frac{2\dot{v}}{\dot{v}} - 1\right) \cdot [O_2]^n = [O_2]^n$ stąd, zgodnie z definicją powinowactwa do tlenu P_{50}, stała K może być zastąpiona wartością powinowactwa do tlenu dla hemoglobiny $P_{50}^n \leftarrow K$ wtedy, gdy stężenie tlenu $[O_2]$ zastąpione będzie jego prężnością cząstkową $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$,

[16] model dysocjacji kompleksu $hemoglobina - tlen$,

[17] do tutaj przedstawionych analiz *model Hilla* jest wystarczająco dokładny, lecz prowadzone były i są prace nad dokładniejszymi modelami dysocjacji hemoglobiny [17;18],

(5)

$$Hb + n \cdot O_2 \; {}_{k_1'}\!\rightleftharpoons^{k_1} Hb(O_2)_n \rightarrow^{k_2} Hb + n \cdot O_2^*$$

which leads us to a different form of mathematical algebraic model than equation (3), also referred to as the *Hill equation*: $\exists_{[o_2] \gg K} \quad \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]^n}{K + [O_2]^n}$ – tab.1..

As before, the *Hill equation* may be concerned with haemoglobin saturation with oxygen $x_{O_2} \leftarrow \frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}}$ expressed as a function of the partial pressure of oxygen $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$ and the affinity of Hb for oxygen $P_{50}^n(Hb) \leftarrow K$, taking the following form[15]: $\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}} \; x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}^n}{\pi_{O_2}^n + P_{50}^n}$, or an equivalent form:

(6)

$$\exists_{\pi_{O_2} \gg P_{50}} \; \frac{x_{O_2}}{1 - x_{O_2}} = \left(\frac{\pi_{O_2}}{P_{50}}\right)^n \Leftrightarrow x_{O_2} = \frac{\pi_{O_2}^n}{\pi_{O_2}^n + P_{50}^n}$$

The chart plotted for an algebraic model of Hb saturation with oxygen[16] (6) has a sigmoidal shape and was experimentally validated together with determination of the value for *Hb*'s affinity for oxygen $P_{50}(Hb) = 26\,mmHg$, and the *Hill coefficient*[17] $n_{Hb} = 2{,}8$ [3,4]. The *Hill coefficient* calculated for myoglobin Mb amounts to $n_{Mb} = 1$ [3]. The charts for the algebraic dissociation models of the complexes *myoglobin – oxygen* and *haemoglobin – oxygen* are shown in fig.1.

A greater value of the *Hill coefficient* for Hb is called a cooperative binding of O_2 by Hb, i.e. binding of O_2 with one haem facilitates tlenu binding of O_2 within the same tetrameter of

[15] providing the following substitution in the equation $\frac{\dot{v}}{\dot{v}_{max}} = \frac{[O_2]^n}{K + [O_2]^n}$ with the value $\dot{v}_{max} = 2 \cdot \dot{v}$ we may calculate the constant K, which will be equal to $K = \left(\frac{2\dot{v}}{\dot{v}} - 1\right) \cdot [O_2]^n = [O_2]^n$; hence, in accordance with the affinity definition for oxygen P_{50}, the constant K may be replaced with the oxygen affinity value for haemoglobin $P_{50}^n \leftarrow K$ when oxygen pressure $[O_2]$is replaced with the value of its partial pressure $\pi_{O_2} \leftarrow [O_2]$

[16] a dissociation model for the complex $haemoglobin - oxygen$

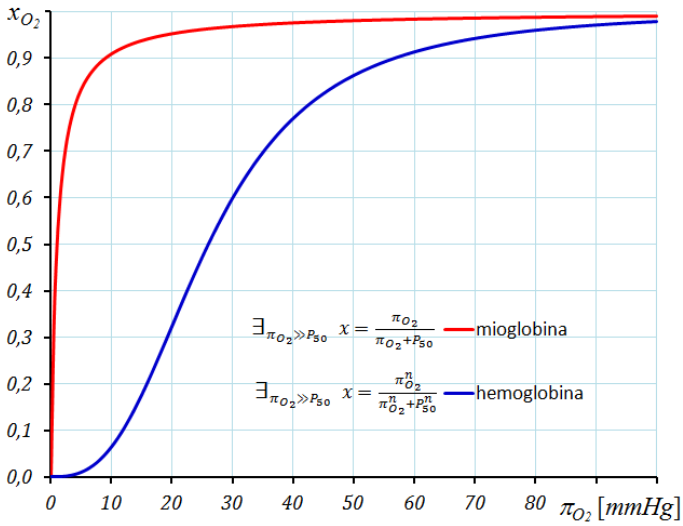
[17] the *Hill model's* accuracy is sufficient with regard to the presented analyses; however, there have also been works on more precise haemoglobin dissociation models [17;18]

przez krew podobnie jakHb, to porównanie wysycenia Hb przez O_2 w zależności od ciśnienia cząstkowego tlenu zmieniłoby się w większym zakresie niż dla Mb, choć Mb nasycałaby się w większym stopniu niż Hb[18] – rys. 3.

a haem [5]. If we assumed that Mb would participate in oxygen transportation through blood, as it is the case with Hb, the comparison of Hb saturation byO_2 would, depending on oxygen partial pressure, change to a greater degree than it does for Mb, althoughMb would become saturated to a greater extent than Hb[18] – fig. 3.

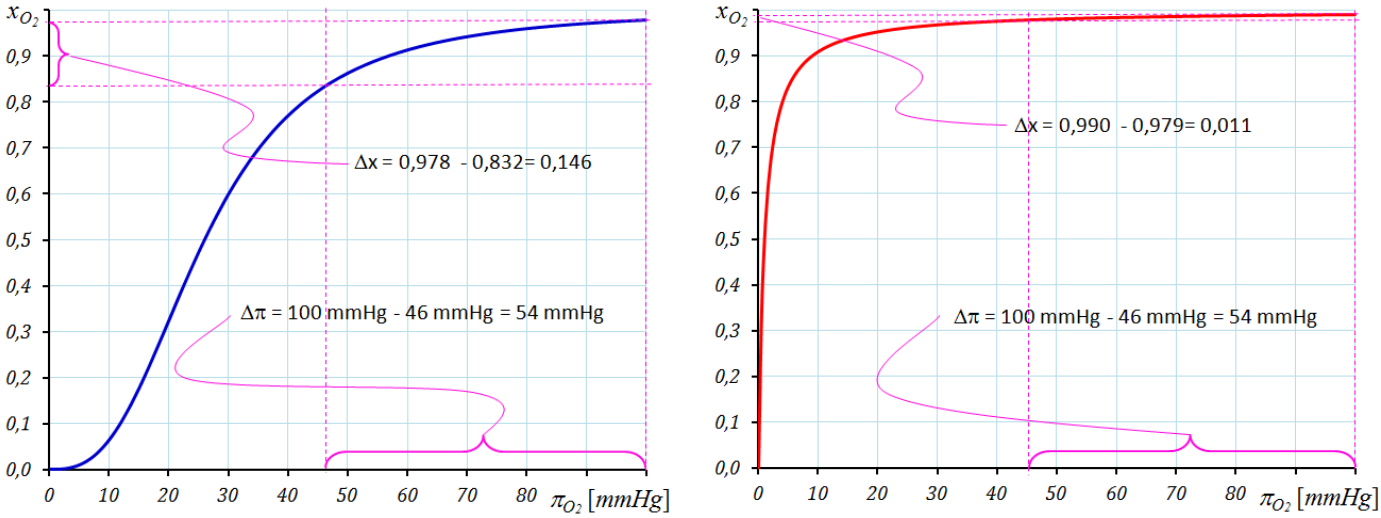
[18]zakładając że ciśnienie cząstkowe tlenu w pęcherzykach płucnych będzie na poziomie $p_{o_2} = 100\ mmHg$ a prężność tlenu w naczyniach włosowatych $\pi_{o_2} = 46\ mmHg$ – rys. 3,

[18] assuming that the oxygen partial pressure in pulmonary alveoli will be within the level of $p_{o_2} = 100\ mmHg$ and the oxygen pressure in capillary vessels will amount to $\pi_{o_2} = 46\ mmHg$ – fig. 3,



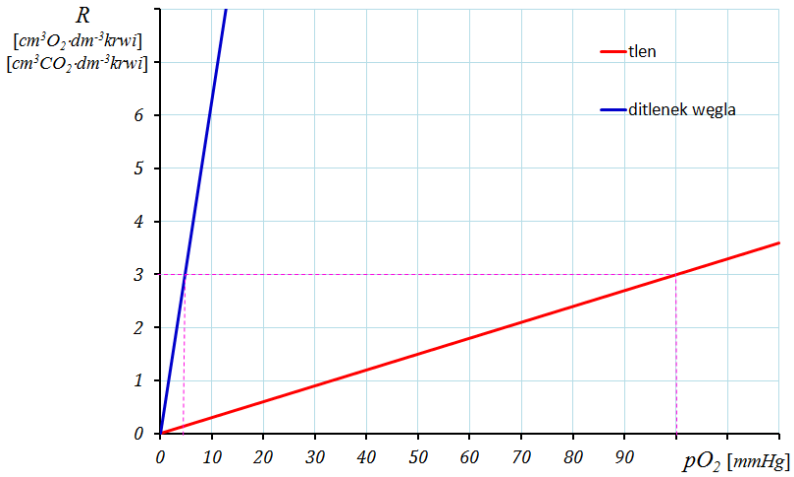
Rys. 2. Wykresy dysocjacji mioglobina-tlen i hemoglobina – tlen jako zależność wysycenia tlenem $x_{O_2}=\frac{[AO_2]}{[AO_2]+[A]}\mid A=\{Hb;Mb\}$ w funkcji w funkcji prężności tlenu we krwi π_{O_2}.

Fig. 2. *Red – myoglobin, blue – haemoglobin.
Dissociation charts for the complexes myoglobin – oxygen and haemoglobin – oxygen as relation of oxygen saturation $x_{O_2}=\frac{[AO_2]}{[AO_2]+[A]}\mid A=\{Hb;Mb\}$ in the function of oxygen pressure in the blood π_{O_2}.



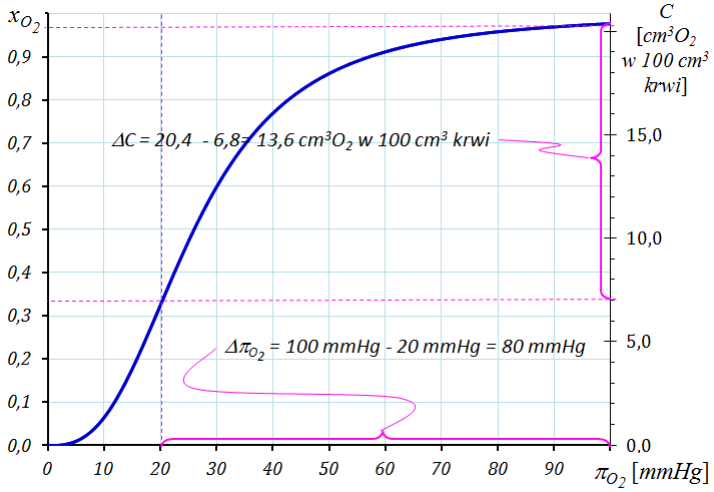
Rys. 3. Wykresy dysocjacji kompleksów a) hemoglobina – tlen, b) mioglobina – tlen jako zależność $x_{O_2}=\frac{[AO_2]}{[AO_2]+[A]}\mid A=\{Hb;Mb\}$ w funkcji prężności tlenu π_{O_2} we krwi przy założeniu, że ciśnienie cząstkowe tlenu w pęcherzykach płucnych będzie na poziomie $p_{O_2}=100\ mmHg$ a prężność tlenu w naczyniach włosowatych $\pi_{O_2}=46\ mmHg$.

Fig. 3. Dissociation charts of the complexes a) haemoglobin – oxygen, b) myoglobin – oxygen as a relation of oxygen saturation $x_{O_2}=\frac{[AO_2]}{[AO_2]+[A]}\mid A=\{Hb;Mb\}$ in the function of oxygen pressure π_{O_2} in blood with the assumption of an oxygen partial pressure value in pulmonary alveoli at the level of $p_{O_2}=100\ mmHg$ and the oxygen pressure in capillary vessels reaching $\pi_{O_2}=46\ mmHg$.



Rys. 4. Porównanie fizycznej rozpuszczalności R tlenu i ditlenku węgla we krwi w funkcji ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} we wdychanym czynniku oddechowym.

Fig. 4. *Red: oxygen, blue: carbon dioxide.
Comparison of physical solubility R of oxygen and carbon dioxide in blood in the function of oxygen partial pressure p_{O_2} in the inhaled breathing mix.



Rys. 5. Różnica zawartości tlenu ΔC pomiędzy tętniczkami płucnymi a naczyniami włosowatymi odpowiadająca spadkowi prężności tlenu $\Delta\pi_{O_2}$ we krwi dla wysiłku lekkiego[19] według tab. 3.

Fig.5. *krwi – blood, w 100 cm3 krwi – in 100cm3 of blood.
Differences in oxygen content ΔC in small pulmonary arteries and capillary vessels correspondent to a reduction in oxygen pressure $\Delta\pi_{O_2}$ in the blood as associated with light exertion[19] according to tab.3.

[19]u zdrowego mężczyzny strumień przepływającej krwi zawiera się w granicach od $\dot{V} \in [5;6] dm^3$, dla przyjętej różnicy prężności tlenu $\Delta\pi_{O_2}$ zgodnie z rys. 5 zużycie tlenu wynosi $13{,}6\ cm^3\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ krwi$ a stąd globalny strumień zużywanego tlenu wynosi ok. $\dot{v}_{O_2} = 136\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi \cdot 5\ dm^3 krwi = 680\ cm^3\ O_2 \cong$ $\cong 0{,}7\ dm^3\ O_2 \cdot min^{-1}$, co według tab. 2 odpowiada wysiłkowi lekkiemu,

[19] in a healthy man the stream of blood is contained within the range of $\dot{V} \in [5;6] dm^3$ with the adopted difference in oxygen pressure $\Delta\pi_{O_2}$; in accordance with fig. 5, oxygen consumption reaches $13.6\ cm^3\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ blood$, hence the global stream of the consumed oxygen reaches ca. $\dot{v}_{O_2} = 136\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood \cdot 5\ dm^3 blood = 680\ cm^3\ O_2 \cong 0.7\ dm^3\ O_2 \cdot min^{-1}$, which according to tab. 2 corresponds to a light effort,

Tab. 3

Strumienie zużywanego tlenu i wentylacja płuc w zależności od wysiłku fizycznego [2].

Streams of consumed oxygen and lung ventilation depending on physical effort [2].

Physical effort		Stream of oxygen consumed	Number of breaths per minute	Lung ventilation	Minimum stream of oxygen consumed
Intensity	Example	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
very light	lying in bed	0.25	up to 20	8–10	up to 0.5
	relaxed sitting position	0.30			
	standing still	0.40			
light	walking at 3.5 $km \cdot h^{-1}$	0.7	20–25	10–20	0.5–1.0
moderate	marching at 6.5 $km \cdot h^{-1}$	1.2	25–30	20–30	1.0–1.5
hard	swimming at 3.0 $km \cdot h^{-1}$	1.8	30–35	30–50	1.5–2.0
very hard	running at 13 $km \cdot h^{-1}$	2.0	35–40	50–65	2.0–2.5
extremely hard	running uphill	4.0	>40	>65	>2.5

FIZYCZNA ROZPUSZCZALNOŚĆ TLENU WE KRWI

W normalnych warunkach prawie cała ilość tlenu transportowana przez krew występuje w kompleksie z hemoglobiną Hb[20] [3]. Jedynie mała jego część jest rozpuszczona na sposób fizyczny[21] we krwi, lecz to ona właśnie odgrywa kluczową rolę w dyfuzyjnym mechanizmie przekazywania tlenu do komórek. Rozpuszczalność fizyczna tlenu we krwi w funkcji ciśnienia $R(p)$ wynosi w przybliżeniu

$$R(p) \cong 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$$

Z zależności (6) dla wysycenia tlenem $x_{O_2} = 0{,}97 \Rightarrow \pi_{O_2} = 89{,}5\ mmHg$.

Stężenie fizycznie rozpuszczonego tlenu wyniesie ok.:

[20]tworzy wiązanie koordynacyjne, czyli hemoglobina z tlenem tworzy wiązanie słabsze niż w typowych związkach chemicznych,

[21]podlegając *prawu Henry'ego* – przenoszenie bez wytworzenia wiązania chemicznego,

PHYSICAL SOLUBILITY OF OXYGEN IN THE BLOOD

In normal conditions nearly the entire oxygen quantity that is transported with blood occurs in a complex with haemoglobin Hb[20] [3]. Only its small part is physically dissolved[21] in blood, nonetheless this is the factor which plays a crucial role in the diffusional mechanism in oxygen's passage to the cells. Physical solubility of oxygen in the blood in the function of pressure $R(p)$ reaches approximately $R(p) \cong 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood$

According to (6) oxygen saturation would be equal to $x_{O_2} = 0{,}97 \Rightarrow \pi_{O_2} = 89{,}5\ mmHg$.

Physical concentration of dissolved oxygen will reach ca.:

$R \cong R(p) \cdot \pi_{O_2} \cong 2.7\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3} blood$ [22]– fig. 4.

[20] creating a coordination bond, i.e. haemoblogin with oxygen creates a weaker bond as compared with typical chemical compounds,

[21] subject to *Henry's law* – tranfer without the formation of a chemical bond ,

[22] $R \cong 0.03\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood \cdot 89.5\ mmHg \cong 2.7\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood$

$R \cong R(p) \cdot \pi_{O_2} \cong 2{,}7\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$ [22] – rys. 4.

TRANSPORT TLENU

Podobnie jak mioglobina Mb dla tkanki mięśniowej, tak i hemoglobina Hb dla krwi stanowi magazyn tlenu. Zmniejszenie stężenia tlenu fizycznie nasycającego krew powoduje uwalnianie go z hemoglobiny Hb.

W warunkach normalnych, maksymalne wysycenie hemoglobiny Hb wynosi ok. $\gamma_{Hb} \cong 1{,}39\ cm^3 O_2 \cdot g^{-1}\ Hb$. U zdrowego człowieka, przeciętna zawartość hemoglobiny C_{Hb} w $1\ dm^3$ krwi wynosi ok. $C_{Hb} \cong 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3} krwi$. Wartości C_{Hb} i γ_{Hb} posłużyły do obliczenia dodatkowej skali stężenia tlenu związanego C przez Hb krwi[23] na rys. 5. W spoczynku, w pozycji siedzącej przepływ krwi $\dot{V}$ kształtuje się na poziomie $\dot{V} \in [4; 6]\ dm^3 \cdot min^{-1}$ z konsumpcją tlenu przez tkanki na poziomie $\dot{v} \in [13; 100]\ cm^3 \cdot min^{-1}$ – tab. 4. Uśredniona konsumpcja tlenu $\dot{v}_{O_2}$ dla organizmu ludzkiego kształtuje się na poziomie $\dot{v}_{O_2} \in [0{,}2; 0{,}3]\ dm^3 \cdot min^{-1}$ [7]. Wraz ze wzrostem obciążenia pracą konsumpcja ta ulega zwiększeniu – tab. 3.

Pod ciśnieniem normalnym, w tętniczkach płucnych prężność tlenu wynosi ok. $\pi_{O_2} \cong 100\ mmHg$, zaś na poziomie naczyń włosowatych pracującego mięśnia ok. $\pi_{O_2} \cong 20\ mmHg$ [8]. Ten przykładowy spadek prężności tlenu odpowiada konsumpcji na poziomie wynoszącym ok. $\dot{v}_{O_2} \cong 0{,}7\ dm^3 \cdot min^{-1}$ dla wysiłku lekkiego – rys. 5.

KONSUMPCJA TLENU

W tab. 3 podano typowe, globalne konsumpcje tlenu $\dot{v}_{O_2}$, lecz na poziomie poszczególnych organów organizmu

[22] $R \cong 0{,}03\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi \cdot 89{,}5\ mmHg \cong 2{,}7\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$

[23] np. dla $x_{O_2} = 0{,}97 \Rightarrow C = 1{,}39\ cm^3\ O_2 \cdot g^{-1}\ O_2 \cdot 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3}\ krwi \cdot 0{,}97 \cong 202\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$

OXYGEN TRANSPORTATION

Similarly to myoglobin's Mb role as an oxygen store for the muscle tissue, haemoglobin Hb serves the same purpose in relation to the blood. A decrease in the pressure of oxygen that saturates blood in a physical manner causes its release from the haemoglobin Hb.

In normal conditions, maximum haemoglobin saturation Hb reaches ca. $\gamma_{Hb} \cong 1{,}39\ cm^3 O_2 \cdot g^{-1}\ Hb$. In a healthy human, the average haemoglobin content C_{Hb} in $1\ dm^3$ of blood is equal to ca. $C_{Hb} \cong 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3} blood$. The values C_{Hb} and γ_{Hb} served to calculate an additional concentration scale of oxygen C bounded by haemoglobin in the blood Hb[23], as represented in fig. 5.

When remaining at rest, in a sitting position, the blood flow $\dot{V}$ is at the level of $\dot{V} \in [4; 6]\ dm^3 \cdot min^{-1}$ with oxygen consumption by tissues of $\dot{v} \in [13; 100]\ cm^3 \cdot min^{-1}$ – tab. 4. The average oxygen consumption $\dot{v}_{O_2}$ in a human organism is at the level of $\dot{v}_{O_2} \in [0.2; 0.3]\ dm^3 \cdot min^{-1}$ [7]. The said level grows together with work load – tab. 3. Under normal pressure, oxygen pressure in small pulmonary arteries reaches ca. $\pi_{O_2} \cong 100\ mmHg$, whereas at the level of capillary vessels of a working muscle it is equal to approx. $\pi_{O_2} \cong 20\ mmHg$ [8]. Such a decrease in oxygen pressure is correspondent to the consumption of ca. $\dot{v}_{O_2} \cong 0.7\ dm^3 \cdot min^{-1}$ when applying a light effort – fig. 5.

OXYGEN CONSUMPTION

Tab. 3 depicts typical global consumption of oxygen $\dot{v}_{O_2}$, which tends to be highly diversified when considering particular organs – tab. 4.

[23] e.g. for $x_{O_2} = 0.97 \Rightarrow C = 1.39\ cm^3\ O_2 \cdot g^{-1}\ O_2 \cdot 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3}\ blood \cdot 0.97 \cong 202\ cm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood$

konsumpcja tlenu jest zróżnicowana w dość szerokim zakresie – tab. 4. Analizując rys. 2–3 i rys. 5 można stwierdzić, że im większa konsumpcja tlenu tym okienko tlenowe powinno być szersze.

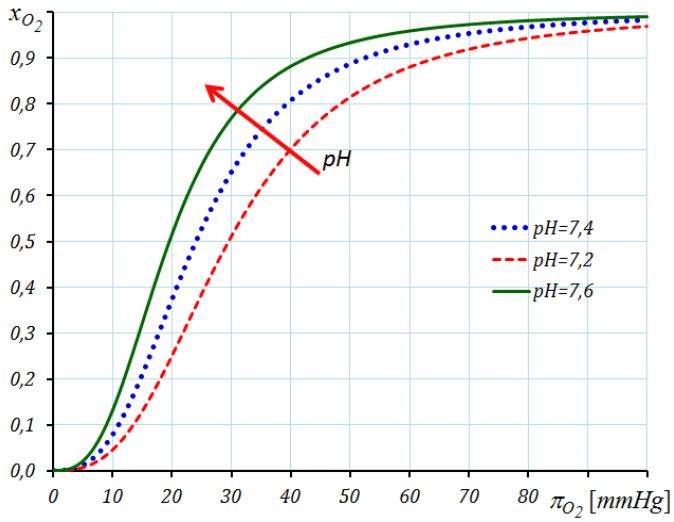
Based on an analysis of fig. 2–3 and fig. 5 we may conclude that the greater the oxygen consumption is, the wider the oxygen window should be.

Tab. 4

Strumień pobieranego tlenu z krwi przez tkanki [6].

Oxygen streams carried to tissues from the blood [6].

Organ	Oxygen uptake from the blood on the level of tissues $[cm^3 \cdot dm^{-3}\text{blood}]$
Heart	100
Brain	60
digestive system	60
muscles at rest	50
Kidneys	13
Other	50



Rys. 6. Zależność stopnia wysycenia hemoglobiny x_{O_2} o niskim powinowactwie do tlenu HbA w funkcji prężności tlenu π_{O_2} oraz pH krwi (9).

Fig. 6. Relation of the degree of saturation of haemoglobin x_{O_2} with low affinity for oxygen HbA in the function of oxygen pressure π_{O_2} and blood level pH (9).

Nie przekłada się to bezpośrednio na zagrożenie poszczególnych organów ośrodkową toksycznością tlenową $CNSyn$, gdyż ich odporność na powstające szkodliwe metabolity jest także znacznie zróżnicowana. Stąd, pomimo tego, że układ nerwowy zużywa dość znaczne ilości tlenu w porównaniu z innymi organami, to jego wrażliwość jest także wyższa i nie jest możliwe wykorzystanie wprost wartości rozpiętości okienka tlenowego do oceny zagrożenia $CNSyn$.

WPŁYWY ŚRODOWISKOWE

Jakościową zależność stopnia wysyceniax_{O_2} dla hemoglobiny HbA[24] w funkcji prężności tlenu π_{O_2} oraz pH[25], pokazano na rys. 6 [9]. Zależność ta pokazuje, że ze wzrostem wartości aktywności jonów hydroniowych[26] $a_{H_3O^+}$ ulega zmniejszaniu powinowactwo HbA do tlenu, powodując łatwiejsze oddawanie tlenu[27]. Podwyższenie wartości pH zwiększa powinowactwo HbA do tlenu i utrudnia oddawanie O_2 w tkankach. Kierunek tych zmian dla każdego rodzaju Hb jest taki sam jak dla HbA. Zjawisko to nosi nazwę *efektu Bohra*.

W organizmie efekt ten najczęściej wywołuje kwas węglowy IV powstający z rozpuszczonego we krwi CO_2, który pod wpływem *anhydrazy węglanowej* rozkłada się do kationu hydroniowego H_3O^+ i anionu wodorowęglanowego HCO_3^-:

$$H_2CO_3 \xrightarrow{anhydraza\ węglanowa} H_3O^+ + HCO_3^-$$

Oprócz wspomnianego wpływu zawartości CO_2 także temperatura powoduje zmiany w powinowactwie hemoglobiny do tlenu – rys. 7.

ZJAWISKO HALDANE'A

Zjawisko Haldane'a polega na łatwiejszym wiązaniu CO_2 przez zredukowaną hemoglobinę niż w reakcji wymiany z oksyhemoglobiną i jest powiązane z omówionym wyżej zjawiskiem

This does not translate directly into the risk of central nervous system oxygen toxicity $CNSyn$ affecting particular organs, since their immunity to the produced harmful metabolites is also highly diversified. Thus, despite the fact that in comparison with other organs the nervous system consumes significant amounts of oxygen, its sensitivity is also higher and it not possible to simply apply an oxygen window value in order to assess the hazard of $CNSyn$.

ENVIRONMENTAL IMPACT

The qualitative interrelation of the x_{O_2}saturation level for haemoglobin HbA[24] in the function of oxygen pressure π_{O_2} and pH[25], is shown in fig. 6 [9]. The chart shows that with the growth in the value of hydronium activity[26] $a_{H_3O^+}$ the affinity for oxygen HbA is reduced, thus causing an easier release of oxygen[27]. An increased pH value on the other hand elevates the affinity for oxygen HbA, and leads to an impeded release of O_2 in tissues. The direction of changes for each Hb type is the same as for HbA. This phenomenon is known as the *Bohr effect*. In an organism this effect is commonly induced by carbonic acid IV produced from the CO_2 that is dissolved in the blood, which under the impact of *carbonic anhydrase* is decomposed into a hydronium cation H_3O^+ and a hydrogen carbonate anion HCO_3^-:

$$H_2CO_3 \xrightarrow{carbonic\ anhydrase} H_3O^+ + HCO_3^-$$

Apart from the said impact of CO_2 content, another recognised factor that induces changes in the affinity of haemoglobin for oxygen is temperature– fig. 7.

HALDANE EFFECT

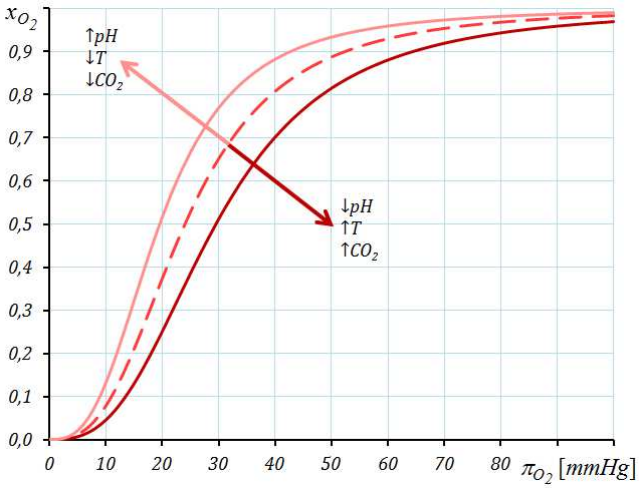
The *Haldane effect* consists of an increased capability of binding CO_2 by reduced haemoglobin, as compared with the reaction of exchange with oxyhaemoglobin, and is related with the already discussed *Bohr effect* involving

[24]rodzaj hemoglobiny o stosunkowo niskim powinowactwie do tlenu [16],
[25]$pH = -\log a_{H_3O^+}$, gdzie: $a_{H_3O^+}$ −aktywność jonów hydroniowych,
[26]obniżenie wartości współczynnika pH,
[27]łatwiejszy rozpad kompleksu $Hb(O_2)_n$

[24] a type of haemoglobin with relatively low affinity for oxygen [16],
[25] $pH = -\log a_{H_3O^+}$, where: $a_{H_3O^+}$ −hydronium activity,
[26] reduction in pH value,
[27] easier decomposition of the complex $Hb(O_2)_n$,

Bohra zmniejszania się powinowactwa hemoglobiny Hb do tlenu przy zmniejszającym się pH krwi – rys. 7.

a decrease in the affinity of haemoglobin Hb for oxygen with decreasing pH of the blood– fig. 7.



Rys. 7. Kierunek zmian stopnia wysycenia x_{O_2} hemoglobiny Hb w funkcji prężności tlenu π_{O_2} we krwi, pH, temperatury T oraz zawartości CO_2.

Fig. 7. Direction of changes in the saturation level x_{O_2} of haemoglobin Hb in the function of oxygen pressure π_{O_2} in the blood, pH, temperature T and CO_2 content.

Ditlenek węgla jest przenoszony z tkanek do płuc przez krew na kilka sposobów. Około $60\%\ CO_2$ transportowane jest w postaci jonów wodorowęglanowych[28] powstałych z wody i CO_2 w obecności enzymu – anhydrozy węglanowej. Około $(5-30)\%\ CO_2$ transportowane jest w postaci kompleksu karbomino–hemoglobinowego $CO_2 - Hb$[29]. Forma przenoszenia przy pomocy wiązania z hemoglobiną zanika przy oddychaniu czystym tlenem pod ciśnieniem ok. $300\ kPa$, gdyż wtedy Hb jest prawie całkowicie zablokowana tlenem a do reakcji metabolicznych wykorzystywany jest jedynie tlen fizycznie rozpuszczony we krwi [10]. Na tej podstawie domniemano, że zatrzymaniu przenoszenia CO_2 tą drogą towarzyszy jego retencja powodując objawy

Carbon dioxide is carried with blood from tissues into the lungs in several ways. Approximately $60\%\ of\ CO_2$ is transported in the form of hydrocarbonate ions[28] produced from water and CO_2 in the presence of an enzyme – *carbonic anhydrase*.

About $(5-30)\%\ of\ CO_2$ is transported in the form of a carbamino-heamoglobin complex $O_2 - Hb$[29]. Transportation with the help of a bond with haemoglobin vanishes when breathing pure oxygen under the pressure of ca. $300\ kPa$, since Hb is then nearly completely blocked by oxygen and the metabolic reactions are based only on oxygen that was physically dissolved in the blood [10]. On this basis it was presumed that the blockage of CO_2 carriage via

[28]dysocjacja do jonu węglanowego nie ma istotnego znaczenia przy mechanizmie przenoszenia ditlenku węgla przez krew, gdyż zachodzi ona przy stosunkowo wysokich wartościach $pH > 9$,

[29]powstawaniu kompleksu $CO_2 - Hb$ towarzyszy emisja jonów hydroniowych H_3O^+ powodujących obniżenie pH w tkankach i krwi w stosunku do płuc

[28] the dissociation from carbonate ion has no significant meaning in the mechanism of carbon dioxide carriage with blood as it occurs with relatively high pH values: $pH > 9$,

[29] the occurrence of $CO_2 - Hb$ complex is accompanied with the emission of hydronium H_3O^+ causing pH reduction in the tissues and blood in relation to the lungs,

zatrucia tlenowego– wydaje się jednak, że mechanizm ten jest inny[30] [8].

Około $10\%\ CO_2$ transportowane jest przez osocze w postaci związków karbaminowych z białkiem osocza. Karbaminiany powstają w wyniku bezpośredniego wiązania się CO_2 z grupami aminowymi bez konieczności hydratacji CO_2 a rzeczywista prężność CO_2 ma niewielki wpływ na ilość CO_2 przenoszoną w postaci karbaminianów.

ZAGROŻENIE CNSYN

Z pomiarów wiadomo, że podniesienie poziomu ciśnienia cząstkowego tlenu w czynniku oddechowym do wartości ok. $p_{O_2} \cong 345\ mmHg$ może spowodować, że we krwi tętniczej jego prężność wzrośnie do ok. $\pi_{O_2} \cong 300\ mmHg$, a w kapilarach żylnych zostanie na tym samym poziomie ok. $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$ lub trochę go przekroczy. Uwzględniając ok. $\pi_{CO_2} \cong 7\ mmHg$ prężności CO_2 można założyć, że prężność łączna O_2 i CO_2 w naczyniach żylnych wyniesie ok. $\pi_{CO_2+O_2} \cong\cong 50\ mmHg$. Odejmując tę wartość od prężności tlenu w krwi tętniczej π_{O_2} można oszacować wartość okienka tlenowego na poziomie $\Delta\pi \cong 300 - 50 = 250\ mmHg$. Ten defekt prężności może być udostępniony dla innych gazów, które powinny opuścić organizm w procesie dekompresji [11].

W eksperymencie SEA–LAB II na głębokości $200\ fsw$[31] podczas 14 dniowego pobytu nurków oddychających czynnikiem o zawartości $4{,}5\%\ O_2$[32] stwierdzono w krwi tętniczej średnią prężność tlenu na poziomie $\pi_{O_2} \cong 192\ mmHg$, gdy w naczyniach żylnych była ona na poziomie $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$ [11].

Z danych tych i z zależności (6) można oszacować wysycenie x_{O_2} w krwi tętniczej dla prężności tlenu $\pi_{O_2} = 192\ mmHg\ O_2$ na poziomie: $x_{O_2}(192\ mmHg\ O_2) \cong 0{,}996$.

A dla krwi żylnej, dla której prężność tlenu była na poziomie

[30] został on omówiony w dalszej części rozdziału,
[31] co stanowiło równowartość ciśnienia ok. $0.7\ MPa$,
[32] ciśnienie cząstkowe tlenu wyniosło ok. $237\ mmHg$,

this manner is accompanied by its retention evoking the symptoms of oxygen toxicity – however, it seems that the actual mechanism is different[30] [8].

Approximately $10\%\ of\ CO_2$ is transported with blood plasma in the form of caramino compounds with plasma protein. Carbamates are products of the direct binding of CO_2 with amino groups without the necessity of CO_2 hydration, and the actual CO_2 pressure has a minor impact on the quantity of CO_2 carried in the form of carbamates.

THE RISK OF CNSYN

Measurements show that an increase in the level of oxygen partial pressure in a breathing mix up to ca. $p_{O_2} \cong 345\ mmHg$ may cause its pressure in arterial blood to reach ca. $\pi_{O_2} \cong 300\ mmHg$, whereas its level in venous capillaries would remain the same, i.e. ca. $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$ or slightly exceed it. With the pressure of CO_2 of ca. $\pi_{CO_2} \cong 7\ mmHg$ we could assume that the total pressure of O_2 and CO_2 in venous vessels would reach ca. $\pi_{CO_2+O_2} \cong \cong 50\ mmHg$. By subtracting this value from oxygen pressure in arterial blood π_{O_2} we may estimate the value of the oxygen window as $\Delta\pi \cong 300 - 50 = 250\ mmHg$. Such a pressure defect may become available to other gases that should leave an organism in the process of decompression [11]. In the experiment SEA–LAB II conducted at the depth of $200\ fsw$[31], during a 14-day stay of divers breathing with a breathing mix with $4.5\%\ of\ O_2$[32], the average oxygen pressure in arterial blood was determined at the level of $\pi_{O_2} \cong 192\ mmHg$, when its level in venous vessels reached $\pi'_{O_2} \cong 40\ mmHg$ [11]. Based on these data and equation (6) it is possible to estimate the saturation x_{O_2} of arterial blood with oxygen pressure $\pi_{O_2} = 192\ mmHg\ O_2$ at the level of: $x_{O_2}(192\ mmHg\ O_2) \cong 0.996$. And in the case of venous blood, for which oxygen pressure was at

[30] as discussed later in the chapter,
[31] which was equivalent to ca. $0.7\ MPa$,
[32] oxygen partial pressure amounted to ca. $237\ mmHg$,

$\pi'_{O_2} = 40\,mmHg\ O_2$ wyniesie jedynie $x'_{O_2}(40\,mmHg\ O_2) \cong 0{,}770$ .Odpowiada to zawartości objętościowej tlenu x_v związanego przez hemoglobinę Hb krwi tętniczej na poziomie

$x_v = 0{,}2085\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi \cdot 0{,}996 \cong 0{,}208\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi$

[33]. Podobnie dla transportu tlenu przez hemoglobinę Hb krwi żylnej, można określić zawartość transportowanego tlenu na poziomie ok. $x'_v \cong 0{,}161\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi$. Zawartość fizycznie rozpuszczonego tlenu w krwi tętniczej wynosi

$x_v = 3 \cdot 10^{-5}\ dm^3\,O_2 \cdot mmHg^{-1}\,O_2 \cdot dm^{-3} \cdot 192\ mmHg \cong 0{,}006\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$

zaś w krwi żylnej:

$x'_v \cong 3 \cdot 10^{-5}\ dm^3\,O_2 \cdot mmHg^{-1}\,O_2 \cdot dm^{-3} \cdot 40\ mmHg \cong 0{,}001\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi$

Łącznie przez krew tętniczą przenoszone jest $x_v \cong 0{,}214\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi$ a żylną $x'_v \cong 0{,}162\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}krwi$.

Różnica pomiędzy zawartością tlenu w jednym litrze krwi tętniczej i żylnej wynosi $\Delta V_{O_2} \cong 0{,}052\ dm^3O_2$ w warunkach normalnych.

Dla warunków normalnych i konsumpcji tlenu zawartej w granicach $\dot{v}_{O_2} \in (0{,}5\ ;\ 3{,}0)\ dm^3O_2 \cdot min^{-1}$, przepływ krwi $\dot{V}$ jest przybliżoną funkcją liniową konsumpcji tlenu $\dot{v}_{O_2}$: $\dot{V} = f(\dot{v}_{O_2})$, którą można zapisać, jako:

$\dot{V}(\dot{v}_{O_2}) \cong 6\ dm^3krwi\ \cdot dm^{-3}O_2 \cdot \dot{v}_{O_2} + 2\ dm^3krwi\ \cdot min^{-1}$

[7]. Poniżej wartości minimalnej konsumpcji tlenu wynoszącej ok. $\dot{v}_{O_2} < 0{,}5\ dm^3O_2 \cdot min^{-1}$ przepływ krwi stabilizuje się na poziomie ok. $\dot{V} \cong 5\ dm^3krwi \cdot min^{-1}$.

Utrudnieniem w oszacowaniu konsumpcji tlenowej $\dot{v}_{O_2}$, jako funkcji tętna, jest zjawisko bradykardii[34]. Średnią konsumpcję

the level of $\pi'_{O_2} = 40\,mmHg\ O_2$ it will reach only $x'_{O_2}(40\,mmHg\ O_2) \cong 0.770$. This corresponds to the volumetric content of oxygen x_v bounded by the haemoglobin Hb in the arterial blood at the level of

$x_v = 0.2085\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood \cdot 0.996 \cong 0.208\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood$

[33]. Similarly, with regard to oxygen transportation with the haemoglobin Hb in the venous blood, we may determine the content of the transported oxygen at the level of ca. $x'_v \cong 0.161\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood$. The content of oxygen physically dissolved in arterial blood is equal to

$x_v = 3 \cdot \cdot 10^{-5}\ dm^3\,O_2 \cdot mmHg^{-1}\,O_2 \cdot dm^{-3} \cdot 192\ mmHg \cong 0.006\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}\ blood$

whereas in venous blood to:

$x'_v \cong 3 \cdot 10^{-5}\ dm^3\,O_2 \cdot mmHg^{-1}\,O_2 \cdot dm^{-3} \cdot 40\ mmHg \cong 0.001\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood$

Altogether, arterial blood carries $x_v \cong 0.214\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood$, whereas venous blood transports $x'_v \cong 0.162\ dm^3O_2 \cdot dm^{-3}blood$. The difference in the oxygen content in one litre of arterial and venous blood amounts to $\Delta V_{O_2} \cong 0.052\ dm^3O_2$ in normal conditions.

In normal conditions and with oxygen consumption within $\dot{v}_{O_2} \in (0.5\ ;\ 3.0)\ dm^3O_2 \cdot min^{-1}$, the blood flow $\dot{V}$ constitutes an approximate linear function of oxygen consumption $\dot{v}_{O_2}$: $\dot{V} = f(\dot{v}_{O_2})$, that may be expressed as:

$\dot{V}(\dot{v}_{O_2}) \cong 6\ dm^3blood \cdot dm^{-3}O_2 \cdot \dot{v}_{O_2} + 2\ dm^3blood \cdot min^{-1}$

[7]. Below the minimum value of oxygen consumption of ca. $\dot{v}_{O_2} < 0.5\ dm^3O_2 \cdot min^{-1}$ the blood flow is stabilised at the level of approximately $\dot{V} \cong 5\ dm^3blood\ \cdot min^{-1}$.

---

[33] $x_v = \gamma_{Hb} \cdot C_{Hb} \cdot x_{O_2} \cong 1{,}39 \cdot 10^{-3}\ dm^3\ O_2 \cdot g^{-1}Hb \cdot 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3}krwi \cdot 0{,}996 \cong 0{,}208\ dm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}krwi$, gdzie: γ_{Hb} – maksymalne wysycenie Hb tlenem, C_{Hb} – przeciętna zawartość hemoglobiny we krwi,

[34] bradykardia (łac. bradycardia) – tutaj określany jest tym mianem stan, kiedy częstość akcji serca spada przy wystawieniu organizmu na ekspozycję hiperbaryczną w porównaniu do akcji serca w normobarii,

[33] $x_v = \gamma_{Hb} \cdot C_{Hb} \cdot x_{O_2} \cong 1.39 \cdot 10^{-3}\ dm^3\ O_2 \cdot g^{-1}Hb \cdot 150\ g\ Hb \cdot dm^{-3}blood \cdot 0.996 \cong 0.208\ dm^3\ O_2 \cdot dm^{-3}blood$, where: γ_{Hb} – maximum Hb saturation with oxygen, C_{Hb} – average content of haemoglobin in the blood,

tlenu $\dot{v}_{O_2}$ podczas eksperymentu SEA–LAB II można oszacować na poziomie $\dot{v}_{O_2} \cong 0{,}25\ dm^3 O_2 \cdot min^{-1}$ przy szacunkowym przepływie krwi $\dot{V}$ na poziomie $\dot{V} \cong 5\ dm^3 krwi \cdot min^{-1}$, co według tab. 3 odpowiada wysiłkowi bardzo lekkiemu. W tab. 5 i na rys. 8 pokazano kierunek zmian zawartości tlenu C_{O_2} w funkcji jego prężności π_{O_2} dla wysiłku bardzo lekkiego[35] [8]. W warunkach normalnych, maksymalne wysycenie $1\ g\ Hb$ wynosi ok. $1{,}39\ cm^3 O_2$. U zdrowego człowieka, przeciętnie $1\ dm^3$ krwi zawiera ok. $150\ g\ Hb$, stąd zgodnie z (6) zawartość O_2 związanego w kompleksie z Hb wyniesie $x_v = 1{,}39\ cm^3 O_2 \cdot g^{-1} \cdot 150\ g \cdot dm^{-3}\ krwi \cdot x_{O_2}$. Rozpuszczalność fizyczna tlenu we krwi $R(p)$ wynosi ok.

$R(p) \cong 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ krwi$

stąd zawartość fizycznie rozpuszczonego tlenu we krwi można zapisać w postaci formuły:

$x_v = 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3} \cdot \pi_{O_2}$

An obstacle to estimating oxygen consumption $\dot{v}_{O_2}$ function of heart rate is the phenomenon of bradycardia[34]. The average oxygen consumption $\dot{v}_{O_2}$during the SEA–LAB II experiment may be estimated at the level of $\dot{v}_{O_2} \cong 0.25\ dm^3 O_2 \cdot min^{-1}$ with approximate blood flow $\dot{V}$ at $\dot{V} \cong 5\ dm^3 blood \cdot min^{-1}$, which according to tab. 3 is consistent with a very light effort.

Tab. 5 and fig. 8 illustrate the directions of changes in the oxygen content C_{O_2}in the function of its pressure π_{O_2} with regard to a very light effort[35] [8]. In normal conditions, maximum saturation of $1\ g\ Hb$ amounts to ca. $1.39\ cm^3 O_2$. On average, in a healthy man $1\ dm^3$ of blood contains ca. $150\ g\ Hb$, hence in concord with (6) the content of O_2 bounded into a complex with Hb will reach

$x_v = 1.39\ cm^3 O_2 \cdot g^{-1} \cdot 150\ g \cdot dm^{-3}\ blood \cdot x_{O_2}$

Physical solubility of oxygen in the blood $R(p)$ is equal to ca.

$R(p) \cong 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3}\ blood$

, thus the content of oxygen physically dissolved in the blood may be expressed with the following formula:

$x_v = 3 \cdot 10^{-2}\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot dm^{-3} \cdot \pi_{O_2}$.

[34] bradycardia – here: a state when the heart rate decreases in a situation when an organism is under hyperbaric exposure as compared with the heart rate in normobaria,

[35] in the course of the experiments divers breathed from inhalers while sitting inside a hyperbaric chamber with ensured thermal comfort,

[35]podczas eksperymentów nurkowie w pozycji siedzącej oddychali z inhalatorów wewnątrz komory hiperbarycznej w warunkach komfortu cieplnego,

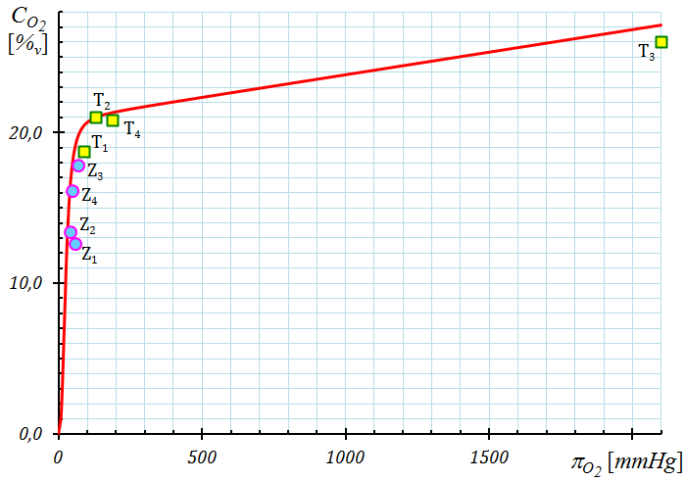
Tab. 5

Prężności i zawartości tlenu [8].

Oxygen pressures and contents [8].

Breathing mix	Pressure		Oxygen partial pressure / Oxygen content		
	Total	partial (oxygen)	Aorta	Superior vein	Difference
	$[mmHg]$	$[mmHg]$	$\frac{[mmHg]}{[\%_{vol.}]}$	$\frac{[mmHg]}{[\%_{vol.}]}$	$\frac{[mmHg]}{[\%_{vol.}]}$
Oxygen	760	760	$\frac{130^{*}}{21.0}$	$\frac{40}{13.4}$	$\frac{90}{7.6}$
	2660	2660	$\frac{2100}{26.0}$	$\frac{75}{17.8}$	$\frac{2025}{8.2}$
Air	760	160	$\frac{91}{18.7}$	$\frac{55.7}{12.6}$	$\frac{35.3}{6.1}$
heliox	5320	239	$\frac{192}{20.8^{*}}$	$\frac{40}{16.1^{*}}$	$\frac{152}{4.7^{*}}$

*–calculated values



Rys. 8. Zawartość tlenu C_{O_2} w funkcji jego prężności π_{O_2} we krwi gdzie linia ciągła przedstawia wartości wynikające z przyjętego, opisanego w tekście, modelu a punkty reprezentują wartości praktyczne – tab. 5 [8].

Fig. 8. Oxygen content C_{O_2} in the function of its pressure π_{O_2} in the blood where the continuous line represents values resulting from the said adopted model, and the marked points indicate practical values – tab. 5 [8].

Linia ciągła $C_{O_2} = x_v \cdot 100\%$ na rys. 8 jest sumą[36] zawartości tlenu związanego z hemoglobiną C_{Hb} i rozpuszczonego fizycznie C: $C_{O_2} = C_{Hb} + C$. Zaś punkty stanowią wyniki uśrednionych wartości oznaczonych, jako: T odnosi się do krwi tętniczej, Z do żylnej, indeks 1 do oddychania powietrzem w warunkach normalnych, 2 do oddychania tlenem w warunkach normalnych, 3 do oddychania czystym tlenem pod ciśnieniem $2660\ mmHg$[37] i 4 do wyników eksperymentu SEA–LAB II– tab. 5.

Podczas przejścia krwi tętniczej przez tkanki ok. $6\%_{obj.}O_2$ wchodzi w reakcje biochemiczne w komórkach. Reakcje te prowadzą, przede wszystkim, do powstania H_2O i CO_2. Zużycie tlenu[38] jest zależne jedynie od zapotrzebowania na energię zmagazynowaną w wiązaniach cząsteczek[39] GTP oraz ATP, i nie zależy właściwie od ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} we wdychanym czynniku oddechowym[40].

Przy oddychaniu powietrzem w warunkach normalnych i przy wysiłku lekkim obserwuje się u ludzi różnicę prężności tlenu $\Delta\pi_{O_2}$ pomiędzy krwią tętniczą a żylną na poziomie $\Delta\pi_{O_2} \cong 49\ mmHg$[41]. Punkt T_1 reprezentuje prężność tlenu π_{O_2} podczas oddychania powietrzem w warunkach normalnych. W tych warunkach Hb jest prawie całkowicie wysycona tlenem – teoretycznie stopień wysycenia wynosi $x_{O_2} \cong 0{,}971$. Wspomniane zużycie ok. $6\%_{obj.}O_2$

The continuous line $C_{O_2} = x_v \cdot 100\%$ shown in fig. 8 represents a sum[36] of the content of oxygen bounded with haemoglobin C_{Hb} and physically dissolved oxygen C: $C_{O_2} = C_{Hb} + C$. The indicated points, on the other hand, provide averaged values where: T refers to arterial blood, Z - venous blood, index 1 - breathing with air in normal conditions, 2 - breathing with oxygen in normal conditions, 3- breathing with pure oxygen under the pressure of $2660\ mmHg$[37] and 4 - the results of the experiment SEA–LAB II– tab. 5.

During the passage of arterial blood through the tissues, ca. $6\%_{vol.}\ of\ O_2$ enters in biochemical reactions in cells. These reactions, first of all, lead to the production of H_2O and CO_2. Oxygen consumption[38] is dependent only on the demand for the energy stored in the bonds of the molecules[39] GTP and ATP, being practically independent of oxygen partial pressure p_{O_2} in the inhaled breathing mix[40].

During breathing with air in normal conditions accompanied with light effort, the observed difference in the oxygen pressures $\Delta\pi_{O_2}$ in arterial and venous blood reaches $\Delta\pi_{O_2} \cong 49\ mmHg$[41]. T_1 represents oxygen pressure π_{O_2} when breathing with air in normal conditions. In such conditions Hb is nearly completely saturated with oxygen – with the theoretical saturation level of $x_{O_2} \cong 0.971$. The said consumption of ca. $6\%_{vol.}O_2$ in metabolic reaction leaves the theoretical Hb saturation

[36]z punktu widzenia prowadzonej tutaj analizy *model Hilla* jest wystarczająco dokładny lecz istnieją także dokładniejsze modele służące opisaniu sumarycznej rozpuszczalności tlenu we krwi [17]; analizę kilku innych modeli podał Lobdell [18],

[37]należy zwrócić uwagę na spadek przepływu krwi związany z przebywaniem pod zwiększonym ciśnieniem związany ze zjawiskiem bradykardii,

[38]w kaskadzie tlenowej i innych cyklach biochemicznych,

[39]Adenozynotrójfosforanu - ATP, guanozynotrójfosforanu – GTP,

[40]czyli spadek zawartości tlenu powinien utrzymywać się na tym samym poziomie przy tym samym obciążeniu nurka wysiłkiem,

[41]na rys. 8 oraz tab. 5 różnica pomiędzy punktami T_1 i Z_1 jest trochę mniejsza gdyż dotyczy ekstremalnie małego zużycia tlenu [8],

[36] from the point of view of the conducted analysis the *Hill model's* accuracy seems to be sufficient; however, there are also more precise models used in the description of summary oxygen solubility in the blood [17]; an overview of several other models was prepared by Lobdell[18],

[37] what should be observed is a decrease in the blood flow related to divers' being subject to an increased pressure related to bradycardic state,

[38] in oxygen cascade and other biochemical cycles

[39] Adenosine triphosphate – ATP, guanosine triphosphate – GTP,

[40] i.e. the decreased oxygen content should be maintained at the same level with the same burden on a diver,

[41] in fig. 8 and tab. 5 the difference between T_1 and Z_1 is slightly smaller, as it concerns an extremely low oxygen consumption [8],

w reakcjach metabolicznych pozostawia teoretycznie wysycenie Hb na poziomie ok. $x_{O_2} \cong 0{,}894$.

Podczas oddychania O_2 pod zwiększonym ciśnieniem coraz większa jego część zostaje przenoszona poprzez osocze a Hb zostaje przez cały czas związana[42] z O_2. Powyżej wartości prężności cząstkowej tlenu ok. $\pi_{O_2} \cong 150\ mmHg$ można zauważyć wzrost zawartości C_{O_2} związany jedynie z jego fizycznym rozpuszczaniem się we krwi w ślad za zwiększaniem się ciśnienia parcjalnego tlenu p_{O_2} we wdychanym czynniku oddechowym. Powyżej wartości prężności $\pi_{O_2} \cong 150\ mmHg$ następuje zmniejszanie się szerokości okienka tlenowego oraz zwiększenie zawartości C_{O_2} fizycznie rozpuszczonego we krwi ponad typową wartość $C_{O_2} > 3 \cdot 10^{-3}\ cm^3\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ krwi$ – rys. 8. W ten sposób tkanki zostają wystawione na coraz wyższe prężności cząstkowe tlenu π_{O_2} oddziałującego z perfundującej[43] je krwi tętniczej. Prężności te mogą być traktowane jako wprost proporcjonalne do zagrożenia możliwością tworzenia szkodliwych wysoko utlenionych metabolitów oraz rodników, które mogą powodować objawy $CNSyn$ – biochemiczna teoria zatrucia tlenowego.

W uproszczeniu można postulować, że przekroczenie ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O_2} we wdychanym czynniku oddechowym powodujące całkowite wysycenie Hb we krwi tętniczej jest granicą wyłączenia ochronnego działania okienka tlenowego związanego z utrzymaniem prężności cząstkowej tlenu π_{O_2} fizycznie nasycającego krew na bezpiecznym poziomie. Od tego momentu czas bezpiecznego oddychania atmosferą wzbogaconą w O_2 jest ograniczony. Oddychaniu O_2 towarzyszy efekt zwiększenia oporów mózgowego przepływu krwi początkowo ograniczający efekt wystawienia tkanki nerwowej na oddziaływanie strumienia O_2 fizycznie rozpuszczonego we krwi [8]. Przy oddychaniu tlenem pod ciśnieniem at the level of ca. $x_{O_2} \cong 0.894$.

Breathing with O_2 under an increased pressure, causes its greater part to be carried by the blood plasma whereas Hb remains bounded the entire time[42] with O_2. Above the oxygen partial pressure value of ca.. $\pi_{O_2} \cong 150\ mmHg$ we may observe an elevated content of C_{O_2} connected only with its physical dissolution in the blood induced by an increasing value of oxygen partial pressure p_{O_2} in the inhaled breathing mix. With the pressure value over $\pi_{O_2} \cong 150\ mmHg$ the width of the oxygen window begins to diminish and the C_{O_2} content that is physically dissolved in the blood increases above the typical value of $C_{O_2} > 3 \cdot 10^{-3}\ cm^3\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ blood$ – fig. 8. This way tissues are exposed to growing values of oxygen partial pressure π_{O_2} due to the perfusing[43] arterial blood. The said pressures may be treated as directly proportional to the risk involving the possibility of occurrence of harmful, highly oxygenised metabolites and radicals, which may induce $CNSyn$ symptoms – a biochemical theory of oxygen toxicity.

In simpler words, we may postulate that exceeding of the value of oxygen partial pressure p_{O_2} in the inhaled breathing mix causes complete saturation of Hb in the arterial blood and leads to deactivation of the protective effect of the oxygen window related to the maintenance of the oxygen partial pressure π_{O_2} that maintains the physical saturation of the blood within a safe level. From this point on, the time of safe breathing with an atmosphere enriched with O_2 is limited.

Breathing with O_2 is accompanied with an effect of an increased resistance in the cerebral blood flow, which initially limits the exposure of the nervous tissue to the activity of a stream of O_2 physically dissolved in blood [8]. When breathing with oxygen under the pressure of $p_{O_2} = 350\ kPa$ the resistance of cerebral

[42]saturacja hemoglobiny tlenem jest cały czas na poziomie 100% zarówno w krwi żylnej jak i tętniczej,
[43]tutaj perfuzja to przepływ krwi przez tkankę lub organ, zwykle określana jest, jako udział procentowy minutowej pojemności rzutowej serca,

[42] haemoglobin saturation with oxygen remains at all times at the level of 100% both in venous and arterial blood,
[43] here perfusion means the blood flow through a tissue or an organ; usually it is defined as a percentage share in the cardiac output,

$p_{O_2} = 350\ kPa$ zwiększa się o połowę opór stawiany przez naczynia mózgowe powodując ok. 25% ograniczenie przepływu krwi przez mózg. Jest to w przybliżeniu dwukrotny efekt w porównaniu z ograniczeniem mózgowego przepływu krwi towarzyszącemu oddychaniu O_2 pod ciśnieniem normalnym [8].

Stężenie tlenu C_{O_2} fizycznie rozpuszczonego we krwi tętniczej podczas oddychania O_2 pod ciśnieniem $p_{O_2} = 350\ kPa$, zgodnie z tab. 5, wynosi: $C \cong 100\% \cdot 2100\ mmHg \cdot 0{,}003\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ krwi \cong 6{,}3\%_{obj.}$

i jest o ponad rząd wielkości wyższe w porównaniu z jego zawartością podczas oddychania powietrzem pod ciśnieniem normalnym: $C \cong 100\% \cdot 91\ mmHg \cdot \cdot 0{,}003\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ krew \cong 0{,}3\%_{obj.}$

Zmniejszony mózgowy przepływ krwi powoduje 25% kompensację zwiększenia zawartości O_2 fizycznie rozpuszczonego we krwi wpływając na zaleganie powstającego podczas przemian metabolicznych CO_2. Retencja ta nie jest zazwyczaj na tyle wysoka, aby powodować zdecydowane objawy hiperkapni[44], choć w niektórych przypadkach może prowadzić do zamroczenia tlenowego. Z czasem zwiększona obecność CO_2 powoduje zmniejszenie pH i mechanizm buforowania[45] krwi nie może przeciwdziałać temu efektowi powodując dodatkowe uwalnianie O_2 z oksyhemoglobiny do krwi – rys. 6. Efekt ten powoduje wystawienie mózgu na większe prężności cząstkowe tlenu π_{O_2}, który może tworzyć szkodliwe metabolity[46]. Rezultatem może być odwleczone w czasie, spontaniczne wystąpienie objawów $CNSyn$.

Częściowym potwierdzeniem opisanego wyżej mechanizmu mogłoby być stosunkowo niskie wysycenie hemoglobiny na poziomie 89% w żyle podobojczykowej obserwowane podczas oddychania O_2 pod ciśnieniem cząstkowym tlenu $p_{O_2} = 350\ kPa$ [8].

vessels increases by 50% resulting in the limitation of the blood flowing through the brain by ca. 25%. Such an effect is approximately twice as strong as compared with the cerebral blood flow limitation observed while breathing with O_2 under normal pressure [8].

The pressure of oxygen C_{O_2} physically dissolved in the arterial blood in breathing with O_2 under the pressure of $p_{O_2} = 350\ kPa$, in accordance with tab. 5, reaches: $C \cong 100\% \cdot 2100\ mmHg \cdot 0.003\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ blood \cong 6.3\%_{vol.}$ and is by over an order of magnitude higher as compared with its content during breathing with air under normal pressure:

$C \cong 100\% \cdot 91\ mmHg \cdot \cdot 0.003\ cm^3\ O_2 \cdot mmHg^{-1}\ O_2 \cdot 100\ cm^{-3}\ blood \cong 0.3\%_{vol.}$

A reduced cerebral blood flow causes a 25% compensation in the increase of the content of O_2 physically dissolved in blood, thus having an impact on how long the CO_2 produced in the course of metabolic transformations lingers. The retention is not usually high enough to cause clear symptoms of hypercapnia[44], although in some cases it may lead to an oxygen black-out. With time, the increased presence of CO_2 results in a decreased pH and the buffering mechanism[45] of the blood cannot counteract this effect, thus causing further O_2 release from oxyhaemoglobin into the blood– fig. 6. Such an effect causes the brain to be exposed to higher oxygen partial pressures π_{O_2}, which may produce harmful metabolites[46]. The result may consist in a delayed, spontaneous occurrence of $CNSyn$ symptoms.

A partial confirmation of the above mechanism could be sought in a relatively low haemoglobin saturation reaching 89% in the subclavian vein observed in breathing with O_2

[44]hiperkapnia to stan podwyższonego ciśnienia cząstkowego CO_2 we krwi powyżej $p_{CO_2} > 45\ mmHg$, tutaj objawy zatrucia CO_2,

[45]roztwór, którego wartość pH po dodaniu niewielkich ilości mocnych kwasów albo zasad, jak i po rozcieńczeniu wodą prawie się nie zmienia,

[46]organiczny bądź nieorganiczny produkt metabolizmu,

[44] hypercapnia is a condition of an increased partial pressure of CO_2 in blood above $p_{CO_2} > 45\ mmHg$, here the symptoms of CO_2 poisoning,

[45] a solution whose pH value after adding small quantities of strong acids or alkalis, as well as after its dilution with water reveals nearly no changes,

[46] an organic or inorganic product of metabolism,

Wstrzymanie usuwania CO_2 z naczyń mózgowych do obwodowych naczyń żylnych powoduje zmniejszenie jego stężenia i przez to obserwowane zmniejszenie akcji oddechowej[47] w fazie poprzedzającej $CNSyn$.

Nie obserwuje się bezpośredniego wpływu retencji CO_2 w obwodowych naczyniach żylnych na indukowanie $CNSyn$ poprzez hiperkapnię. Retencja ta powoduje raczej powtórny wzrost wentylacji[48] bezpośrednio przed $CNSyn$.

PODSUMOWANIE

Teoria okienka tlenowego tradycyjnie wykorzystywana była do planowania i oceny bezpieczeństwa dekompresji stanowiąc teorię zjawisk zachodzących zarówno w dekompresji po nurkowaniach krótkich jak i saturowanych [11,12]. Wykorzystana była do planowania leczenia hiperbarycznego [13].

Zastosowanie do oddychania tlenu na ostatnich stacjach dekompresyjnych[49] powoduje, że okienko tlenowe jest wystarczająco szerokie, aby eliminować azot sześć razy szybciej niż podczas oddychania powietrzem[50] [1]. Pomimo zastosowania tlenu w ostatniej fazie procesu dekompresji należy ograniczać szybkość wynurzania ze względu na kinetykę usuwania nadmiaru gazu obojętnego[51], który powinien być

with oxygen partial pressure of $p_{O_2} = 350\ kPa$ [8].

The discontinued CO_2 discharge from cerebral vessels into peripheral venous vessels leads to a decrease in its pressure, thus resulting in the observed reduction in respiratory activity[47] in the phase preceeding $CNSyn$.

No direct impact of CO_2 retention in peripheral venous vessels was observed with regard to $CNSyn$ induction through hypercapnia. Such a retention is rather proven to cause another increase in ventilation[48] immediately before $CNSyn$.

CONCLUSIONS

The theory of an oxygen window was traditionally used in planning and assessing the safety of decompression, and constituted a theory concerned with the phenomena occurring in the process of decompression following both short and saturation dives [11,12]. It was also applied in planning hyperbaric treatment [13].

Using oxygen for breathing in the last decompression stations[49] causes the oxygen window to become wide enough to eliminate nitrogen six times faster as compared with breathing with air[50] [1]. Despite the application of oxygen in the last phase of the decompression process, it is still necessary to reduce the divers' ascent speed due to the kinetics behind the

[47]stymulowane przez ośrodek oddechowy,

[48]a przez to wystawienie tkanek na zwiększone oddziaływanie strumienia tlenu fizycznie rozpuszczonego we krwi,

[49]poza strefą jego toksycznego oddziaływania,

[50]przykładowo, gdy podczas oddychania powietrzem azot jest usuwany w ilości ok. $0{,}45\ kg$ przez ok. $30\ min$, to podczas izobarycznego oddychania tlenem czas usuwania tej samej ilości azotu z organizmu ludzkiego wyniesie ok. $5\ min$,

[51]Przykładowo Bühlmann, wykorzystujący w swych pracach koncepcję okienka tlenowego, ograniczył szybkość wynurzania nurka na powierzchnię do $10\ mH_2O\ min^{-1}$. Wprowadza on także obligatoryjny, jednominutowy przystanek dekompresyjny na głębokości $3\ mH_2O$ wtedy, gdy nurkowanie nie wymaga zastosowania przystanków dekompresyjnych.

Amarican Academy of Underwater Sciences dostarczyła dowodów potwierdzających punkt widzenia Bühlmanna. Wykazano, że zmniejszenie szybkości wynurzania oraz zastosowanie dekompresyjnego przystanku bezpieczeństwa przy nurkowaniach z dekompresją zerową zmniejsza rozmiary cichej fazy gazowej minimum sześć razy a prężność azotu w szybkich tkankach teoretycznych pomiędzy 12% a 21% z jedynie minimalnym wzrostem prężności azotu w wolniejszych tkankach teoretycznych [14],

[47] stimulated by the respirator centre,

[48] and the related exposure of tissues to an increased effect of the stream of oxygen physically dissolved in the blood,

[49] beyond the toxicity zone,

[50] e.g. if it is assumed that in the process of breathing with air ca. $0.45\ kg$ of nitrogen is removed within approx.. $30\ min$, then during isobaric breathing with oxygen the time needed to dispose of the same quantity of nitrogen from the human organism will reach ca. $5\ min$,

usunięty z organizmu bez formowania się wolnej fazy gazowej. Okienko tlenowe zapewnia osłabienie tendencji formowania się wolnej fazy gazowej. Toksyczne działanie tlenu ogranicza jednak zakres stosowania tej praktyki. Inną niedogodnością jest nieliniowość szerokości okienka tlenowego w funkcji ciśnienia cząstkowego tlenu we wdychanym czynniku oddechowym wynikająca z samych właściwości hemoglobiny [6] – rys. 1.

Koncepcja poszerzonego okienka tlenowego[52] posłużyła prof. T. Doboszyńskiemu do opracowania tabel trimiksowej i nitroksowej ciągłej dekompresji po saturacji odnosząc tym znaczny sukces polskiej myśli batynautycznej[53]. Koncepcja takiego wykorzystania teorii okienka tlenowego była zgodna z obserwacjami innych naukowców, lecz przez nich zaniechana[54].

Wykorzystanie pojęcia okienka tlenowego do wytłumaczenia zjawisk toksyczności tlenowej nie było do tej pory opisane, dlatego zawarte w artykule teorie nie mają odzwierciedlenia w innych doniesieniach, stąd należy odnosić się do nich niezwykle ostrożnie[55]. Stanowią one próbę teoretycznej interpretacji zaobserwowanych zjawisk.

Podano tutaj sugestię, że to właśnie przekroczenie ciśnienia cząstkowego tlenu we wdychanym czynniku oddechowym powodującego ograniczenie ochronnego działania okienka tlenowego powoduje zagrożenie $CNSyn$, czyli bezpieczne przebywanie powyżej wartości tego ciśnienia cząstkowego tlenu jest ograniczone czasowo.

Artykuł zawiera wyniki badań przeprowadzonych w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni a finansowanych ze środków na naukę w latach 2009 – 2011 w ramach

removal of excess inert gas[51], which should be disposed of from an organism without the formation of a free gas phase. The oxygen window ensures a weakened tendency to form the free gas phase. However, the toxic effect of oxygen imposes a certain limitation in the application of this practice. Another inconvenience consists in the fact of the non-linearity of the width of an oxygen window in the function of oxygen partial pressure in the inhaled breathing mix resulting from the same properties of haemoglobin [6] – fig. 1.

The concept of a widened oxygen window[52] was used by Prof. T. Doboszyński in the preparation of trimix and nitrox tables for continuous decompression following saturation, resulting in an unquestionable success of the Polish bathynautic line of thought[53]. The idea of such an application of the theory of oxygen window was compliant with observations made by other scientists, yet they decided to abandon it[54].

Using the oxygen window concept in the explanation of phenomena related to oxygen toxicity has not been so far described, hence the theories stipulated in this article lack their reflection in other reports and require a careful

[52]wartość maksymalnego okienka tlenowego dla nurkowań saturowanych prof. T. Doboszyński przyjął na poziomie $150\ mmHg$ nazywając ją poszerzonym okienkiem tlenowym [15,

[53]batynautyka [gr. bathýs ‘głęboki’ i *nautikós* ‘okrętowy’] zdefiniowano tutaj, jako całokształt wiedzy o prowadzeniu działalności podwodnej,

[54]w przytoczonym eksperymencie SEA–LAB II okienko tlenowe kształtowało się na poziomie ok. $150\ mmHg$ [11], taką też maksymalną wartość okienka tlenowego dla nurkowań saturowanych przyjmował prof. T. Doboszyński nazywając ją poszerzonym okienkiem tlenowym [15],

[55]zwłaszcza, że nie zostały one potwierdzone badaniami własnymi.

[51] For example, when Bühlmann used the concept of an oxygen window in his works, he limited the speed of a diver’s ascent to the surface to $10\ mH_2O\ min^{-1}$. He also introduced an obligatory one-minute decompression stop at the depth of $3\ mH_2O$ in situations when diving did not require such stops. *The American Academy of Underwater Sciences* provided evidence in favour of Bühlmann’s perspective. It was shown that a decrease in the ascending speed and the implementation of a decompression safety stop in dives with zero decompression caused a reduction in the silent gas phase by at least six times, whereas nitrogen pressure in quick theoretical tissues reached between 12% and 21% with only miminal increase in slower theoretical tissues [14],

[52] maximum oxygen window for saturated dives was estimated by Prof. T. Doboszyński at $150\ mmHg$, which he referred to as a widened oxygen window [15],

[53] bathynautics [gr. bathýs ‘deep’ and *nautikós* ‘nautical’] is here defined as the entirety of knowledge on carrying out underwater activities,

[54] in the quoted SEA–LAB II experiment the oxygen window was at the level of ca. $150\ mmHg$ [11], i.e. it was equal to the maximum oxygen window value adopted by prof. T. Doboszyński as the so-called widened oxygen window [15],

rozwojowego Nr O R00 0001 08 p.t.: Projektowanie dekompresji w misjach bojowych.

approach[55]. They constituted an attempt at a theoretical interpretation of the observed phenomena.

The article provides a suggestion that it is the transgression of oxygen partial pressure in the inhaled breathing mix that causes a limitation in the protective effect of oxygen window leading to an increased risk of CNS_{yn}, i.e. the time of a safe stay above a particular oxygen partial pressure value is limited.

The paper presented the results of a research conducted at the Polish Navy Academy in Gdynia financed from an educational fund for the years 2009 – 2011 within the developmental project No. O R00 0001 08 entitled: Planning decompression in combat missions.

[55] especially since they have they not been confirmed with our own studies.

BIBLIOGRAPHY

1. Kenny J.E. *Business of diving.* Houston : Gulf Publishing Co., 1973. ISBN 0-87201-183-6
2. Przylipiak M., Torbus J. *Diving equipment and works – a handbook.* Warsaw : Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1981. ISBN 83-11-06590-X
3. Stryer L. *Biochemistry.* Warsaw : Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997. ISBN 83-01-12044-4
4. Ekeloef N.P., Eriksen J., Kancir C.B. Evaluation of two methods to calculate p50 from a single blood sample: Acta Anaesthesiol Scand , No specification of place,. 2001, Vol. 45, pp 550-552
5. Berg J.M., Tymoczko J.L., Stryer L. *Biochemistry.* Warsaw : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007. ISBN 978-83-01-14379-4
6. Vann R.D. The physiology of NITROX diving. [aut. książki] Crosson D.J., Hulbert A.W. Hamilton R.W. *Workshop on enriched air NITROX diving.* National Oceanic and Atmospheric Administration, 1989
7. Åstrand P.-O. and Rodahl K. *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercises.* New Jork : McGraw-Hill, Inc., 1977. ISBN 0-07-002406-5
8. Lamberdsen C.J., Kough R.H., Cooper D.Y., Emmel G.L., Loeschcke, Schmidt C.F. Oxygen toxicity. Effects in man of oxygen inhalation at 1 and 3,5 atmospheres upon blood gas transport, cerebral circulation and cerebral metabolism. *Journal of Applied Physiology.* 1953, Vol. 9, 9, pp 471-486
9. Corda M., De Rosa M.C., Pellegrini M.G., Sanna M.T. , Olianas A., Fais A., Manca L., B. Masala B., Zappacosta B., Ficarra S., Castagnola M., Giardina B. Adult and fetal haemoglobin J-Sardegna [α50(CE8)His→Asp]: functional and molecular modelling studies:. *Biochem. J.* 2000, 346, pp 193-199
10. Nunn J.F. *Clinicial physiology of breathing with particular consideration of aneasthesiology.* Warsaw : Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, 1981. ISBN 83-200-0469-1
11. Behnke A.R. The isobaric (oxygen window) principle of decompression. *Transactions of the Third Annual Conference of the Marine Technology Society San Diego.* 1967
12. Sićko Z. *Prognostication of the susceptibility of divers saturated with Heliox to decompression sickess in experimental and operational decompression systems.* Łódź : Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej, 1993. A PhD dissertation
13. Van Liew H.D., Bishop B., Walder P.D., Rahn H. Effects of compression on composition and absorption of tissue gas pockets. *J. Appl. Physiol.* 1965, Tom 20, strony 927- 933
14. Cole B. *Decompression and computer assisted diving.* No specification of place: Dive Information Company, 1993. ISBN 0-9520934-0-5
15. Doboszyński T. *Private oral information.* 2011
16. Kwasiborski P.J., Kowalczyk P., Zieliński J., Przybylski J., Cwetsch A. The significance of haemoglobin's affinity for oxygen in adaptation to hypoxaemia. *Polski Merkuriusz Lekarski.* 2010, Vol. XXVIII, pp 166-260
17. Tikuisis P., Gerth W.A. Decompression theory. [aut. książki] Neuman T.S. Brubakk A.O. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving.* Edinburgh : Saunders, 2003
18. Lobdell D.D. An invertible simple equation for computation of blood O2 dissociation relations. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 1981, Tom 50, 5, strony 971-973

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

SCIENTIFIC DIVING IN POLAR REGIONS – THE EXAMPLE OF ECOLOGICAL STUDIES AT THE INSTITUTE OF OCEANOLOGY, POLISH ACADEMY OF SCIENCES

NURKOWANIA NAUKOWE W REJONACH POLARNYCH NA PRZYKŁADZIE BADAŃ EKOLOGICZNYCH PROWADZONYCH PRZEZ INSTYTUT OCEANOLOGII PAN

НАУЧНЫЙ ДАЙВИНГ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННОГО ИНСТИТУТОМ ОКЕАНОЛОГИИ PAN

Piotr Bałazy[1)], Piotr Kuklinski [1,2)], Maria Włodarska-Kowalczuk[1)]

1) Department of Marine Ecology, Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland
1) Zakład Ekologii Morza, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
2) Department of Life Sciences, Natural History Museum, Cromwell Road, London
2) Zakład Nauk Przyrodniczych, Muzeum Historii Naturalnej, Cromwell Road, Londyn

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Diving as a tool applied in scientific research has proven itself to be reliable even in difficult polar conditions. The article presents a brief description of the reasons for interest in the polar regions and the advantages of diving as compared with other research methods. Moreover, we shall present a subjective review of the most significant moments from the early history of underwater exploration of the polar regions, as well as provide an insight into the current ecological research carried out by the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences in the Arctic and the Antarctic with some details on the nature of these activities.
Key words: ecology, scientific diving, the Arctic, Spitsbergen, the Antarctic.

Nurkowanie jako narzędzie służące do badań naukowych sprawdza się nawet trudnych warunkach polarnych. W artykule opisujemy krótko powody zainteresowania rejonami polarnymi oraz przedstawiamy zalety nurkowania na tle innych metod badawczych. Ponadto przestawiamy subiektywny przegląd najważniejszych momentów wczesnej historii podwodnej eksploracji rejonów polarnych, a także przybliżamy ekologiczne badania jakie Instytut Oceanologii PAN prowadzi w Arktyce i Antarktyce po to, by na końcu ujawnić nieco z kulisów takiej pracy.
Słowa kluczowe: ekologia, scientific-diving, Arktyka, Spitsbergen, Antarktyka.

Дайвинг в качестве инструмента для научно-исследовательских работ подтверждается даже в суровых полярных условия. В этой статье мы кратко опишем причины интереса к полярным регионам и представим преимущества погружений на фоне с другими методами исследования. Кроме того, мы покажем субъективный обзор наиболее важных моментов в ранней истории подводных исследований в полярных регионах, а также приблизим экологические исследования, которые проводит Институт океанологии в Арктике и Антарктике, чтобы, наконец, приоткрыть чуть-чуть кулисы такой работы.
Ключевые слова: экология, исследовательское погружение, Арктика, Шпицберген, Антарктика.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 65 – 84
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR. 46.4
Pages: 20, figures: 1, tables: 0.
page www of the periodical: www.phr.net.pl

THE STUDIES WERE FINANCED FROM VARIOUS SOURCES, INCLUDING THE NATIONAL SCIENTIFIC CENTRE ON THE BASIS OF THE DECISIONS DEC-2011/01/N/NZ8/04493 AND E12AP004.

BADANIA BYŁY FINANSOWANE Z RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ, W TYM PRZEZ NARODOWE CENTRUM NAUKI NA PODSTAWIE DECYZJI: DEC-2011/01/N/NZ8/04493 I E12AP004.

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

Obszary polarne, choć trudno dostępne i niegościnne, były obiektem zainteresowania człowieka od bardzo dawna. Pierwsze nieśmiałe wyprawy podyktowane chęcią zysku nastawione były na eksploatację często bardzo bogatych zasobów naturalnych. Następnie przyszedł czas na szerzej zakrojone odkrycia geograficzne, eksploracje nowych miejsc na mapie świata i pierwsze doniesienia naukowe. Obecnie zainteresowanie rejonami polarnymi wcale nie słabnie a wręcz zyskuje na znaczeniu. Przyczyną tego, szczególnie w ciągu ostatnich dekad, są postępujące zmiany klimatu. Spośród wszystkich rejonów na kuli ziemskiej, najszybciej ogrzewają się właśnie rejony polarne takie jak Zachodni Półwysep Antarktyczny czy Arktyka europejska (wzrost temperatury jest tam około trzykrotnie większy niż średnia ogólnoświatowa) [1, 2, 3]. Prognozy szacują, że niektóre z wspomnianych obszarów mogą być sezonowo wolne od lodu już w przeciągu trzydziestu lat [4]. Związane z tym kwestie pojawiających się nowych możliwości wydobycia złóż mineralnych czy alternatywnych dróg transportu będą miały niewątpliwie swoje konsekwencje geopolityczne jak również staną się źródłem silnej presji antropogenicznej na dosyć izolowane dotychczas ekosystemy polarne. Obserwowane zmiany przede wszystkim jednak sprawiają, że rejony polarne są doskonałym miejscem do prowadzenia eksperymentów naukowych w terenie - swoistym laboratorium do badań nad wpływem zmian klimatycznych. Uznaje się, że najbardziej podatna na zmiany jest strefa przybrzeżna [5], a tam doskonałym narzędziem badawczym są techniki nurkowe. Rzeczywiście, nurkowanie w rejonach polarnych dostarcza bardzo wielu cennych informacji, ponieważ jak dotąd większość z dostępnych danych pochodzi z pokładów dużych statków [6]. Te z kolei omijają trudne do nawigacji, często jeszcze nie skartowane rejony przybrzeżne i skupiają się na głębszych rejonach dna. Ponadto tradycyjny sprzęt do poboru prób opuszczany z pokładu statków, jak czerpacze i dragi, oferuje jedynie zaobserwowanie pewnego wycinka środowiska, który nie koniecznie musi odzwierciedlać większą całość. Nic nie zastąpi bezpośrednich obserwacji podwodnych. Co więcej, taki sprzęt ma

INTRODUCTION

Polar areas, despite being rather inaccessible and forbidding, have evoked human interest for a very long time. The first timid expeditions were dictated by hopes of profit from the exploitation of the rich natural resources of the area. This was followed by a period of far-flung geographic discoveries, exploration of new places on the world's map and the first scientific reports. Currently, the interest in the polar areas is still growing in importance. The reason, especially in the last decades, is rooted in the research on the progressing climate change. Among all the regions on the globe such polar regions as the Western Antarctic Peninsula or the European Arctic belong to the fastest warming areas (where the temperature increase is approximately three times higher than the worldwide average) [1, 2, 3]. According to projections, some of the mentioned areas may become seasonally free of ice in less than thirty years from now [4]. The acquired possibilities for extraction of mineral deposits, and the alternative means of transportation that are now able to access these areas, will undoubtedly abound in geopolitical consequences, as well as become a source of a strong anthropogenic pressure on these, thus far, isolated polar ecosystems. However, the observed changes first of all cause the polar regions to become an ideal place for carrying out scientific experiments in the field – a peculiar laboratory for the research on climate changes. It is a common belief that the areas most susceptible to changes are the coastal zones [5], where diving techniques prove to be the perfect research tool. Indeed, diving in polar areas supplies a lot of valuable information, since the majority of previously available data came from the decks of large ships [6] - which generally tend to avoid the coastal regions that are difficult to navigate or do not have proper cartography, and focus on deeper areas. Furthermore, the traditional sampling equipment released from the deck, such as samplers, offer observance of only a certain sector of the environment, which does not necessarily reflect the greater whole. Nothing can replace direct underwater observation. What is more, the said equipment is characterised by limited efficiency, particularly in locations with hard sea beds, i.e. exactly

ograniczoną sprawność, szczególnie w miejscach o twardym dnie, a to te miejsca charakteryzują się największym bogactwem życia. Większość organizmów zamieszkujących morza i oceany stowarzyszona jest właśnie z płytkim, skalistym dnem. Trudy i niedogodności związane z nurkowaniem w wodach polarnych wynagradzane są zatem dostępem do nie do końca zbadanych środowisk o wysokiej bioróżnorodności, gdzie ciągle wiele prac nosi znamiona odkrycia.

Z uwagi na ograniczoną wiedzę autorów jak i ramy samego artykułu, przedstawiony poniżej rys historyczny nie jest kompletny – jest on jedynie próbą chronologicznego przypomnienia ważniej-szych wydarzeń związanych z wczesną historią podwodnej eksploracji rejonów polarnych. Zgodnie z jednym z najskrupulatniej opracowanych przeglądów [7], pierwsze nurkowania w warunkach polarnych miały miejsce podczas niemieckiej wyprawy na statku „Gauss", mającej zbadać nieznane wtedy rejony Antarktyki, na południe od Wysp Kergulena. Ekspedycja w latach 1901-1903 była kierowana przez Ericha von Drygalskiego, a pierwsze zanurzenia przy użyciu sprzętu klasycznego (skafander angielskiej firmy Siebe Gorman & Co. Ltd.) odbyły się około 16 kwietnia 1902 roku. Nurkującym był Willy Heinrich, cieśla okrętowy, który nauczył się nurkowania w marynarce wojennej. Podczas trwania wyprawy kilkakrotnie nurkował pod lodem, nawet przy temperaturach powietrza sięgających -30°C. Pomimo tego, że wyprawa miała charakter poznawczy, to nie były to nurkowania stricte naukowe, a jedynie prace polegające na uszczelnianiu kadłuba, reperowaniu steru czy uwolnieniu łańcucha kotwicznego [7 oraz ref. w niej zawarte]. Z podobnych przyczyn, ale dużo później, bo krótko po 1 stycznia 1947 roku, na kartach historii nurkowań polarnych zapisali się nurkowie marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych: kmdr por. Tommy Thompson i główny mechanik Dixon. Pierwsze nurkowania wykonali używając pełnotwarzowych masek Jack'a Brown'a i tlenowych rebreatherów Desco w pobliżu Szelfu Rossa. Miały one na celu inspekcję śruby okrętu podwodnego USS Sennet, który zapuścił się w te rejony, w ramach największej ekspedycji Antarktycznej w historii – operacji „High Jump" [7, 8]. Oficjalnie nazywana przez marynarkę

the places with the greatest richness of life. Most of the organisms living in the seas and oceans are associated with a shallow rocky bottom. The hardships and inconveniences related to diving in polar waters are rewarded with access to unexplored environments and new discoveries, thanks to the high biodiversity of these previously unexplored lands. Due to the authors' limited knowledge as well as the frameworks of the article, the historical background presented below is incomplete and constitutes merely an attempt to provide a chronological reminder of the most important events connected with the early history of underwater exploration of the polar regions. In concord with one of the most meticulously prepared reviews [7] the first dives in polar conditions were performed during a German expedition on the ship "Gauss" with the objective being to explore the then undiscovered regions of the Antarctic situated south of the Kerguelen Islands. The expedition, carried out between 1901 and 1903, was directed by Erich Von Drygalski, the first descents with the use of classic equipment (a diving suit manufactured by the English company Siebe Gorman & Co. Ltd.) being performed around 16 April 1902. The diver was Willy Heinrich, a shipwright, who practiced diving during his service in the navy. During the said expedition he executed several dives under the ice, even with air temperatures as low as -30°C. Despite the cognitive character of the expedition the performed dives were not of a strictly scientific nature but rather consisted in works involving sealing of the hull, repairs to the rudder or releasing the anchor chain [7 with included references]. For similar reasons, however much later, i.e. after 1 January 1947, the history of polar dives was broadened by divers of the US Navy: Cmdr. Lt. Tommy Thompson, and chief engineer Dixon. Their first dives were performed with the use of Jack Brown full face masks and Desco oxygen rebreathers near the Ross Ice Shelf. Their objective was to carry out an inspection of the propellers of the USS Sennet, a submarine which entered the region as a part of the greatest expedition in the history of the Antarctic – the 'High Jump' operation [7, 8]. The expedition, officially called a developmental project by US Navy officers, was in fact an attempt to prepare for a possible cold war conflict in arctic conditions. One of the first documented cases of using diving equipment in polar

amerykańską projektem rozwojowym była próbą przygotowania się na ewentualny zimnowojenny konflikt w warunkach arktycznych. Jednym z pierwszych udokumentowanych przypadków użycia sprzętu do nurkowania w rejonach polarnych, do celów naukowych, były nie do końca udane próby poboru glonów przez Johna Bunt'a na początku 1957 roku na australijskiej stacji antarktycznej „Mawson".

Z powodu niewygody (Bunt wyposażony był w sprzęt Siebe-Gorman'a, aparat Salvus lub hełm) pozostawał w zanurzeniu jedynie przez pięć minut. W późniejszych latach (1962-1963) z powodzeniem prowadził bogaty program badawczy, oparty na swobodnym nurkowaniu. Po wejściu do masowej produkcji sprzętu S.C.U.B.A, pierwszymi nurkami wykorzystującymi go pod lodem w Antarktyce byli prawdopodobnie nurkowie marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych, którzy w styczniu 1957 roku zmuszeni byli do wydobycia zwłok z wraku pojazdu gąsienicowego po tym, jak zapadł się on pod lodem. Lata 60-te (1961-1962) to już całoroczne nurkowania naukowe (w tym podlodowe) w cieśninie McMurdo, wykonywane w przez ekologa bentosu Verne E. Peckham'a, na potrzeby Zakładu Nauk Biologicznych Uniwersytetu Stanforda. Pekcham nurkował do głębokości 48 metrów wykorzystując pojedynczą butlę, dwu-wężowy automat oddechowy Aqualung i suchy skafander Bel-Aqua/Aquala razem z neoprenowym skafandrem i wełnianą bielizną używaną jako ocieplacz. Od sezonu 1963/1964 akcje nurkowe do badań naukowych znacznie się zwielokrotniły, szczególnie na Antarktydzie. Jedną z ważniejszych postaci wartych wspomnienia tu jest Paul Dayton, który wykonał ponad 500 nurkowań podczas ponad pięćdziesięciu miesięcy spędzonych w McMurdo. Prace jego i współpracowników, pomimo, że pionierskie, do dziś uważane są za wytyczające standardy w dziedzinie ekologii bentosu Antarktydy [7]. Oprócz Amerykanów, nurkowania prowadzili także Brytyjczycy z British Antarctic Survey (1962, Wyspa Signy), Francuzi ze stacji biologicznej CNRS w Roscoff (1962, Wyspy Kergulena), Rosjanie (Mikhail Propp, Eugene Gruzov, Alexander Puszkin, 1965/1966, stacja Mirnyy), Japończycy (1968, Stacja Syowa) i Nowozelandczycy (1970, Stacja Scotta, McMurdo) [7, 9 oraz ref. w nich zawarte].

regions for scientific purposes consisted in John Bunt's attempts to collect seaweed at the beginning of 1957 in an Australian Antarctic station "Mawson", which ended with mediocre result. Due to the difficulties associated with using the then available equipment in that environment, (Bunt was supplied with Siebe-Gorman equipment, Salvus apparatus and a helmet) he was only able to remain immersed for five minutes. Later (in 1962-1963) he successfully managed a rich scientific programme based on free diving. After S.C.U.B.A equipment was introduced into mass production, the first divers using it under ice in the Antarctic were presumably divers of the US Navy, forced in January 1957 to recover corpses from a wrecked caterpillar vehicle which had crashed through the ice. The 1960s (1961-1962) were the period of all-year scientific dives (including under-ice diving) in McMurdo strait performed by a benthos ecologist, Verne E. Peckham, on request of the Department of Biology of Stanford University. Pekcham executed dives to the depth of 48 metres using a single cylinder, a double-hose Aqualung regulator and a dry suit Bel-Aqua/Aquala with a neoprene suit and woolen underwear used for maintaining thermal comfort. Beginning with the season of 1963/1964, diving operations carried out for the purposes of scientific research showed a significant increase, especially in the Antarctic.

One of the most important figures, worthy of a mention at this point, was Paul Dayton, a man who performed more than 500 dives during his approximately fifty months spent in McMurdo. His and his colleagues' works, despite their pioneer character, are still perceived as guideline standards in the field of the Antarctic benthos ecology [7]. Besides dives were also conducted by British men of the British Antarctic Survey (1962, Signy Island), the French from a CNRS biological station in Roscoff (1962, the Kerguelen Islands), Russians (Mikhail Propp, Eugene Gruzov, Alexander Puszkin, 1965/1966, the Mirnyy station), Japanese (1968, the Syowa station) and New Zealanders (1970, the Scotta Station, McMurdo) [7, 9 with included references].

In 1975 the famous "Calypso" group stayed in the Antarctic for four months together with Jacques Yves Cousteau who was shooting his film "Voyage au bout du monde". In the northern hemisphere, in the Arctic, the history

Americans of polar dives began

W 1975 roku cztery miesiące w Antarktyce spędziła słynna „Calypso" wraz z ekipą Jacques'a Yves'a Cousteau, który kręcił tam swój film „Podróż na kraniec świata". Na półkuli północnej, w Arktyce, historia nurkowań polarnych zaczęła się nieco później. Jeżeli się nie mylimy, jednymi z pierwszych byli nurkowie Kanadyjscy, zajmujący się ratownictwem lub pracami przy rurociągach (druga połowa lat 50-tych ubiegłego wieku) oraz Amerykanie dokonujący inspekcji kadłubów okrętów podwodnych wynurzających się na biegunie (1958). Cywilne nurkowania w Arktyce wykonywane przez te kraje dotyczyły głównie badań oceanograficznych, biologii morza oraz geologii [10]. Norwegowie, znani ze swoich polarnych tradycji, pierwsze nurkowania w Arktyce wykonali prawdopodobnie w 1962 roku, a pierwszym nurkującym był Per Svendsen – botanik morski z Uniwersytetu w Bergen [11, 12]. Od 1978 roku corocznie na Svalbardzie, badania ekologiczne, przy użyciu nurkowania prowadził Bjorn Gulliksen (pierwsze nurkowanie na wyspie Jan Mayen w 1972 roku) [13]. Wartymi wspomnienia są również Rosjanie, którzy wzorując się zapewne na wczesnych norweskich eksploracjach - Fridtjofie Nansenie i jego statku „Fram", prowadzili zakrojone na szeroką skalę różnorodne obserwacje przez okrągły rok, bezpośrednio z lodu morskiego. Na tych dryfujących stacjach również wykorzystywano nurkowanie, po raz pierwszy bodajże w 1969 roku na stacji „Biegun Północny - 18" pod kierownictwem Vladimira Grishchenko [14].

Początki nurkowania naukowego w Polsce sięgają lat trzydziestych ubiegłego stulecia i związane są z działalnością prof. Romana Wojtusiaka, pracownika naukowego Zakładu Zoopsychologii i Etologii Zwierząt Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 1935 roku Wojtusiak wzorując się na hełmie Beebe'a, skonstruował własny hełm nurkowy typu otwartego, zasilany zwykłą pompą samochodową. Rok później, korzystając z zaplecza Morskiego Laboratorium Rybackiego na Helu, prowadził przy jego użyciu pierwsze udokumentowane obserwacje podwodne w Zatoce Puckiej. Przydatność hełmu, jego opis a także wyniki obserwacji, prof. Wojtusiak zawarł m.in. w publikacji „Hełm nurkowy do obserwacji biologicznych

somewhat later. Our research indicates that the first divers were Canadians performing rescue operations or work on pipelines (second half of the 1950s) and Americans carrying out inspections of the hulls of submarines surfacing at the Pole (1958). Civilian dives in the Arctic performed by citizens of these countries were mainly concerned with oceanographic research, marine biology and geology [10]. Norwegians, known for their polar tradition, presumably conducted their first dives in the Arctic in 1962, and the first diver among them was Per Svendsen – a marine botanist from the University in Bergen [11, 12]. Starting from 1978, Bjorn Gulliksen performed each year an ecological research in Svalbard with the use of diving equipment (the first dive carried out in Jan Mayen Island in 1972) [13]. It is also worth mentioning the Russians, who conducted large scale all-year diversified observations directly from marine ice, an idea presumably based on previous Norwegian explorations - Fridtjof Nansen and his ship "Fram". These drifting stations also applied diving as a research technique, with the first dive performed probably in 1969 at the "North Pole – 18" station under Vladimir Grishchenko's supervision [14].

The beginnings of scientific diving in Poland reach back to the 1930s and are connected with the activity of Prof. Roman Wojtusiak, an academic worker of the Institute of Zoological Psychology and Ethology of the Jagiellonian University. In 1935, Wojtusiak construed his own open-face diving helmet modeled on Beebe's helmet, fed through regular automotive pump. A year later, using the equipment of the Marine Fisheries Laboratory in Hel, he performed the first documented underwater observations in the Bay of Puck. The notes on the helmet's usability, its description as well as the results of observations were published by Prof. Wojtusiak in the paper entitled "Diving helmet in marine biological observations" in "Wszechświat" magazine ("The Universe") in 1938 [15, 16, 17]. According to the reports of Małgorzata Orlewicz-Musiał [15], many people participated in the dives, including a renowned marine biologist, Prof. KazimierzDemel and a daughter of Prof. Michał Siedlecki, a meritorious marine researcher named Ewa. Prof. Siedlecki himself operated the pump supplying air to the helmet, although he

morskich", która ukazała się w piśmie „Wszechświat" w 1938 roku [15, 16, 17]. Jak podaje Małgorzata Orlewicz-Musiał [15], w zanurzeniach uczestniczyło wiele osób, w tym np. znany biolog morski prof. Kazimierz Demel czy córka wielce zasłużonego dla badań morza prof. Michała Siedleckiego, Ewa. Prof. Siedlecki osobiście obsługiwał pompę doprowadzającą powietrze do hełmu, choć sam nigdy nie zszedł pod wodę. W 1955 roku pojawiły się w Polsce pierwsze „akwalungi" - automaty oddechowe konstrukcji Cousteau-Gagnan. Trzy sztuki z firmy La Spirotechnique z Francji, razem ze skafandrami, maskami, fajkami płetwami, sprowadziła sopocka Stacja Morska Polskiej Akademii Nauk, mieszcząca się w małym budyneczku u nasady mola spacerowego (dała ona początek powołanemu wiele lat później Instytutowi Oceanologii Polskiej Akademii Nauk). Pierwszą osobą wykorzystującą ten sprzęt był Witold Zubrzycki – pionier polskiego nurkowania swobodnego [15, 18].

W 1957 roku w magazynie „Wszechświat" ukazał się artykuł opisujący pierwsze próby podwodnych badań fauny i flory za pomocą automatów Cousteau-Gagnan [19]. Wcześniej (1952-1954) wykorzystywano skafandry i hełmy nurków klasycznych (np. w Szczecinie prof. W. Filipowiak, w Morskim Instytucie Rybackim w Gdyni dr P. Ciszewski z) [20]. Pierwsze polskie nurkowania w rejonach polarnych związane były z powstaniem w 1977 roku, na Wyspie Króla Jerzego, Stacji Antarktycznej Polskiej Akademii Nauk „Arctowski". W pierwszej ekspedycji brała udział grupa nurków Marynarki Wojennej, której zadaniem było wyznaczenie dogodnych do lądowania miejsc dla ciężkiego sprzętu pływającego, jak gąsienicowe transportery PTS i promy pontonowe. Pierwsze, ciągle rekonansowe nurkowania o charakterze naukowym, mające na celu zebranie okazów fauny bentosowej, odbyły się już następnego lata (1978/1979) w okolicach stacji. Na sprzęcie pozostawionym przez Marynarkę (skafandry typu Foka, aparaty Bp, płetwy „komandoski") nurkowali wtedy Maciej Zawadzki i Karol Teliga. W kolejnym roku, już na prywatnym sprzęcie, nurkował dr Maciej Lipski wraz z Ryszardem Stępnikiem [21]. Kolejno nurkowano tam w latach 1981, 1988, 1989, 1993 i 1994 [22] przy czym jednymi z pierwszych, większych badań naukowych były te organizowane przez

regulators manufactured by Cousteau – Gagnan. never performed a descent. In 1955 the first "aqualungs" appeared in Poland. Three of them, obtained from the company La Spirotechnique in France, together with diving suits, masks, snorkels and flippers, were imported by the Sopot Marine Station of the Polish Academy of Sciences located in a small building at the entrance of the pier (which provided fundaments for the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences established many years later).

The first person to use the said equipment was Witold Zubrzycki – the pioneer of Polish free diving [15, 18]. In 1957 "The Universe" magazine published an article describing the first attempts in underwater flora and fauna research with the use of Cousteau-Gagnan regulators [19]. Previous research (1952-1954) was conducted with the use of classic diving suits and helmets (e.g. by Prof. W. Filipowiak in Szczecin or by P. Ciszewski, Ph.D., in the Marine Fisheries Institute in Gdynia) [20]. The first Polish dives in polar regions were associated with the founding of an Antarctic Station of the Polish Academy of Sciences "Arctowski" in 1977 on King George Island. The first expedition was undertaken by a group of divers of the Polish Navy, whose task consisted in designating landing areas for heavy equipment, such as tracked amphibious transporters (PTS) and pontoon ferries. The first reconnaissance dives of a scientific character aimed at collecting specimens of the benthos fauna were carried out during the next summer (1978/1979) in the vicinity of the station. The divers, Maciej Zawadzki and Karol Teliga, performed dives with the use of the equipment left by the Navy (seal-type diving suits, Bp regulators, 'commando' flippers). The following year, the dives were conducted with the use of private equipment by Maciej Lipski, Ph.D., and Ryszard Stępnik [21]. The consecutive dives took place in 1981, 1988, 1989, 1993 and 1994 [22], and one of the largest scientific studies was the one organised by researchers from the University of Łódź – Prof. Krzysztof Jażdżewski and Jerzy Żychliński in 1988. The rich material containing the benthos organisms collected at the depths of 5-30 metres was used in writing several original academic papers [23]. The first dives under an ice pack with the thickness of 2-3 metres could have been performed in the season of1988/1989 (Maciej Lipski, Ph.D., Marek Michalak) on which occasion plankton

naukowców z Uniwersytetu Łódzkiego - prof. Krzysztofa Jażdżewskiego i Jerzego Żychlińskiego w 1988 roku. Bogaty materiał organizmów bentosowych jaki wtedy zebrano z głębokości 5-30 metrów, posłużył do napisania kilku oryginalnych prac naukowych [23]. Pierwszymi nurkowaniami pod pakiem lodowym o grubości 2-3 metrów mogły być te z sezonu 1988/1989 (dr Maciej Lipski, Marek Michalak), kiedy to pobierano próbki planktonu na otwartym morzu Scotia, podczas ostatniego antarktycznego rejsu r/v „Prof. Siedlecki" [21]. Regularnie na „Arctowskim" nurkowano od 2003 roku (dr Tomasz Janecki z Zakładu Biologii Antarktyki i współpracownicy) [22].

Powołany w 1983 roku Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (IO PAN) jako bezpośredni spadkobierca sopockiej Stacji Morskiej, oprócz badań Morza Bałtyckiego zajmuje się również badaniami rejonów polarnych – głównie europejskiej części Arktyki (archipelag Svalbard), ale także Grenlandii, Arktyki Kanadyjskiej, Aleutów, Ziemi Franciszka Józefa czy Antarktyki (Wyspa Króla Jerzego). Z punktu widzenia ekologii morza, są to przede wszystkim badania terenowe nad bioróżnorodnością, w kontekście funkcjonowania ekosystemów i zmian jakim one podlegają, w tym zmian spowodowanych przez globalne zjawiska jak ocieplenie klimatu, zakwaszenie oceanów. Obszarami szczególnego zainteresowania są rejony przybrzeżne, strefa pływowa, fiordy czy lód morski, dlatego też nurkowanie stało się jednym z często wykorzystywanych narzędzi. Pierwsze nurkowania na potrzeby badań ekologicznych w IO PAN miały miejsce stosunkowo późno, bo były to lata 90-te. W 1991 roku współpracowano z grupą czechosłowackich biologów i płetwonurków, z prof. Zdenkiem Durisem na czele, bazujących w mieszczącej się na południowo- wschodnim wybrzeżu Bellsundu(zachodni Spitsbergen) stacji Calypso (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie). Celem pięciotygodniowej ekspedycji, podczas której udało się wykonać 18 nurkowań (4-43 m) w 9-ciu miejscach (większość w Recherchefjorden, ale także niedaleko Tomtvika w Van Keulenfjorden i Van Mijenfjorden) były ogólne obserwacje podwodne i inwentaryzacja arktycznego bentosu (w tym fotograficzna). Podczas wyprawy udało się pozyskać małą

samples were collected in the open waters of the Scotia Sea during the last Antarctic cruise of the r/v "Prof. Siedlecki" [21]. Regular dives at the "Arctowski" site began in 2003 (Tomasz Janecki, Ph.D., from the Institute of Antarctic Biology and co-workers) [22]. The Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences (IO PAN) was established in 1983, as a direct inheritor of the Sopot Marine Station. Apart from researching the Baltic Sea, IO PAN also deals with research of polar regions – mainly the European part of the Arctic (the Svalbard archipelago), but also of Greenland, the Canadian Arctic, the Aleutian Islands, Franz Josef Land or the Antarctic (King George Island). From the point of view of marine ecology, this was mainly a field study on biodiversity in the context of the functioning of ecosystems and the changes they are subject to, including changes evoked by global phenomena, such as global warming or ocean acidification. The areas of particular interest were the coastal areas, the tidal zone, fjords or sea ice, hence diving became one of the most popular tools.

The first dives for the needs of the IO PAN ecological research took place relatively late on, i.e. in the 1990s. In 1991 the Institute began its cooperation with a group of Czechoslavakian biologists and scuba divers headed by Prof. Zdenek Duris and stationed in the Calypso station (the Marie Curie University in Lublin) located in the south-east coast of Bellsund (western Spitsbergen). The objective of a five-week long expedition which resulted in 18 dives (4-43 m) in 9 places (mostly in Recherchefjorden as well as near Tomtvik, in Van Keulenfjorden and Van Mijenfjorden) consisted in general underwater observations and taking an inventory of the Arctic benthos (including photographic documentation). The expedition's result was a small collection of decapods and organisms associated with macroalgae [24, 25]. In 1992 the Czechoslovakian team took part in a cruise on s/y Oceania in the region of Bolsheoya and Tusenoyane islands (south of Edgoy Island, Svalbard) with a large population of walruses. The material collected during the performed dives, as well as the photographic documentation, enabled description of the feeding grounds of those magnificent sea mammals. During the said excursion the divers used for the very first time a specially prepared "benthometer" [26, 27, 28] – one of the then versions of the so-called Kautski's frame[29, 30],

kolekcję skorupiaków dziesięcionogich, a także pobrać organizmy stowarzyszonych z makroalgami [24, 25]. W 1992 roku czechosłowacka ekipa brała udział w rejsie na s/y Oceania, w rejon wysp Bolsheoya i Tusenoyane (na południe od wyspy Edgoya, Svalbard), gdzie występowało duże nagromadzenie morsów. Materiał pobierany przy użyciu nurkowania, jak i dokumentacja fotograficzna, posłużyła do opisania terenów żerowiskowych tych wielkich ssaków morskich. Podczas tej wyprawy płetwonurkowie posługiwali się po raz pierwszy specjalnie przygotowanym „benthometrem" [26, 27, 28] – jedną z wczesnych wersji tzw. ramki Kautskiego [29, 30], która pozwala na ilościowy zbiór organizmów bentosowych bez strat. W 1995 prof. Duris wykonał pojedyncze nurkowania, podczas których pobierał głównie skorupiaki, w tym żyjącą pod krami lodowymi faunę sympagiczną [31, 32].

Od 1997 roku badania na Spitsbergenie prowadzone są już rokrocznie [33]. Pierwszymi z serii były badania dotyczące ekologii stosunkowo słabo zbadanej grupy kolonijnych organizmów bentosowych, jakimi są mszywioły – ich bogactwa gatunkowego, rozmieszczenia i zagęszczenia w zależności od rozmaitych czynników środowiskowych [34, 35]. Skupiono się przy tym szczególnie na środowisku arktycznego fiordu Kongsfjord (79°N), choć badania pokrywały swoim zasięgiem cały Archipelag Svalbard i nurkowano m.in. na najdalej wysuniętej wyspie archipelagu Rossoya, 80°N, czy w wielu trudno dostępnych rejonach wschodniego Spitsbergenu. W sumie wykonano ok. 100 nurkowań. Stwierdzono występowanie 162 taksonów, co stanowi 82% gatunków notowanych dla całego Archipelagu i prawie połowę wszystkich znanych gatunków arktycznych mszywiołów. Udało się także zidentyfikować dwa główne gradienty środowiskowe, odpowiedzialne za ich rozmieszczenie: pierwszy to procesy związane z głębokością (dynamika środowiska, ilość światła), a drugi wiąże się odległością od lodowców a więc ilością zawiesiny i dopływem wody słodkiej [36]. Dzięki zastosowaniu nurkowania, możliwe było przebadanie całego spektrum bioróżnorodności i czynników na nią wpływających, nie ograniczając się tylko do głębokiego dna i prób pobieranych z pokładu statków.

Kolejny projekt dotyczył fauny

which allowed quantitative collection of benthos organisms without losses. In 1995, Prof. Duris carried out single dives to collect samples, mainly crustaceans, including the sympagic fauna living under the ice floes [31, 32]. Since 1997, the research on Spitsbergen was already conducted on an annual basis [33]. The first of the series of studies consisted in research concerned with a group of relatively understudied benthos organisms – bryozoans – their specific richness, placement and density depending on various environmental factors [34, 35]. Particular attention was paid to the arctic environment of Kongsfjord (79°N), although the research covered the entire Svalbard Archipelago and the dives were performed also on Rossoya Island, placed furthest to the north of the Archipelago, 80°N, or in numerous difficult to access regions of eastern Spitsbergen. Altogether the expeditions encompassed approx. 100 dives, confirming the existence of 162 taxons, i.e. 82% of species noted for the entire Archipelago and nearly half of all the recognised species of arctic bryozoans.

Moreover, it was possible to identify two main environmental gradients responsible for their placement: the first involving the processes connected with depth (environmental dynamics, quantity of light), the second connected with the distance from glaciers and the related quantity of suspension and fresh water inflow [36]. The application of diving as a research tool enabled the study of the whole spectrum of biodiversity and the influencing factors, without being limited to the deep sea bottom and samples collected from ships' decks. Another project was concerned with the macroalgae-associated fauna of Hornsund, a fjord on the southernmost tip of Spitsbergen Island. The kelp forms a thick bush on a hard sea bottom within the depth ranges of 5 to 25 m. These algae, of maximum height of 3 metres, fulfill the role of the so-called 'environmental engineers' – causing weakening of water dynamics in the area near the bottom and accumulation of an organic matter. Moreover, they provide shelter from predators, whereas their tissues are a great substrate for epiphyte fauna, such as the already mentioned bryozoans. Hence, the so-called kelp forests provide a habitat to multiple species of the benthos fauna. In 2003, research was carried out in three different places on Hornsund – near Hyrneodden, Hoferpynten, and in Isbjornhamna Bay. The collection of this type of material is feasible only with the help of divers. A diver

stowarzyszonej z makroglonami w Hornsundzie, najbardziej wysuniętym na południe fiordzie Spitsbergenu.Brunatnice tworzą gęste zarośla na twardym dnie w zakresie głębokości od około 5 do 25 m. Wysokie do około 3 metrów glony pełnią rolę tzw. „inżynierów środowiska" – powodują osłabienie dynamiki wód w strefie naddennej i gromadzenie się materii organicznej, stanowią też schronienie przed drapieżnikami, a ich tkanki są świetnym substratem dla fauny poroślowej np. wspomnianych już mszywiołów. Stąd siedliska tzw. lasów brunatnic zamieszkiwane są zwykle przez bardzo bogate w gatunki zespoły fauny bentosowej. W roku 2003 prowadzono badania w trzech miejscach: w Hornsundzie – w okolicach Hyrneodden, Hoferpynten, i zatoce Isbjornhamna. Zbiór tego typu materiałów możliwy jest tylko przy pomocy płetwonurków. Nurek zagarnia glon (i towarzysząca mu faunę) w rodzaj torby uszytej z siatki o 1 mm wielkości oczka, po czym odcina nożem ryzoid glonu od podłoża skalnego i transportuje zebrany materiał na powierzchnię.

W sumie zebrano w ten sposób 403 sztuki makroglonów reprezentujących 9 gatunków brunatnic i krasnorostów, w tym 3 najczęściej występujących, czyli *Laminaria digitata, Saccharina latissima* i *Alaria esculenta*. Analiza zabranego materiału wykazała, że fauna stowarzyszona z glonami zdominowana była przez gatunki z grup Bryozoa (mszywioły) i Hydrozoa (stułbiopławy) [37]. W sumie stwierdzono występowanie 208 gatunków bezkręgowców, szczególnie gęsto rozmieszczonych w ryzoidach glonów, tworzących skomplikowane, trójwymiarowe struktury. Wśród nich znajdował się nowy gatunek stułbiopława, nieznany dotąd nauce, *Halecium arcticum*, opisany na podstawie okazów zebranych w Hornsundzie [38]. Dalsze analizy zebranych materiałów pozwoliły na zdefiniowanie czynników środowiskowych, które decydują o rozmieszczeniu gatunków fauny stowarzyszonej z glonami, w różnych częściach fiordu [39, 40], a także na szczegółową analizę rozmieszczenia obunoga *Caprella septentrionalis* - charakterystycznego elementu biocenoz związanych z lasami małego skorupiaka, który całymi grupami żeruje na powierzchni liści wielkich glonów [41]. W latach 2005 i 2006, w trakcie kolejnych

gathers alga (with the accompanying fauna)into a kind of a bag made from a 1mm mesh net, then, using a knife, cuts off the rhizoid of the alga from the rocky ground and transports the collected materials to the surface.

Such a procedure allowed the collecting of 403 pieces of macroalgae representing 9 kelp and red algae species, including the 3 most common ones, i.e. *Laminaria digitata, Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. The analysis of the collected material indicated that the algae-associated fauna was dominated by species from Bryozoan and Hydrozoan groups [37]. Altogether, existence the of 208 species of invertebrates was confirmed, with particular density in the rhizoids of the algae forming complicated three-dimensional structures. Among them, the researchers found a new red alga species, thus far unrecognised by scientists, *Halecium arcticum*, described on the basis of specimens collected on Hornsund [38]. Further analyses of the obtained materials allowed determination of environmental factors, having a decisive impact on the distribution of algae-associated fauna in various parts of the fjord [39, 40], complemented with a detailed analysis of the placement of an amphipod *Caprella septentrionalis* – a characteristic element of the biocenoses related to kelp forest – a small crustacean feeding on the large algae leaves in whole groups [41].

In 2005 and 2006, during consecutive expeditions, divers collected macroalgae on 10 different stations located along the Hornsund coast. Among other things, the obtained samples were used in the calibration of the method consisting in the use of acoustic measurements to define the distribution and the biomass of the kelp. Such works lead to the production of a detailed description of the species and the biomass forming the kelp forest of the fjord [42]. Examples of experimental research conducted with the use of diving techniques are the projects devoted to colonisation and succession in the polar regions (fig. 1 a) [43, 44] (three months in the Antarctic and an ongoing research in the Arctic). In their case, diving was used in an installation of specially construed metal frames on a rocky sea bottom. The frames were provided with colonisation panels monitoring each year's fauna settlement (since 2004). One brunatnic – set of panels is replaced with a new one on an annual basis, whereas the rest (three sets), permanently remaining on the sea bottom,

wypraw płetwonurkowie dokonywali zbioru samych makroglonów na 10 stacjach rozmieszczonych wzdłuż wybrzeża fiordu Hornsund. Próby te służyły między innymi do kalibracji metody wykorzystania pomiarów akustycznych do określania rozmieszczenia i biomasy brunatnic. Prace pozwoliły na szczegółowy opis składu gatunkowego i biomasy lasów brunatnic we fiordzie [42]. Przykładami badań eksperymentalnych, prowadzonych przy użyciu nurkowania są projekty poświęcone kolonizacji i sukcesji w rejonach polarnych (rys. 1. a) [43, 44] (trzy miesięczny w Antarktyce i trwający do dziś w Arktyce). W ich przypadku nurkowanie zostało użyte do instalacji na skalistym dnie specjalnie skonstruowanych do tego celu metalowych ram. Do tychże ram przymocowane zostały panele kolonizacyjne, na których rokrocznie (od 2004) monitorowana jest osiadającą fauna. Każdego roku, jeden zestaw paneli wymieniany jest na nowy, natomiast reszta (trzy zestawy) pozostająca stale na dnie, jest jedynie fotografowana. Analiza komputerowa zdjęć o wysokiej rozdzielczości pozwala na odtworzenie rozwoju (sukcesji) osiadłych zgrupowań fauny arktycznej, oszacowania tempa porastania i konkurencji międzygatunkowej. Panele wymieniane na nowe, pozwalają nie tylko na prześledzenie corocznego napływu organizmów ale także na monitorowanie gatunków inwazyjnych, które zaczynają się pojawiać w szybko zmieniającym się środowisku arktycznym.

Nurkowanie z powodzeniem wykorzystywano również do poboru krabów pustelników [45, 46, 47]. Badania te, tak naprawdę nad fauną porastającą muszle ślimaków zamieszkałych przez pustelniki, miały na celu rozpoznanie rozmieszczenia, zagęszczenia i preferencji siedliskowych krabów jako dostarczycieli specyficznego mobilnego podłoża do życia dla tych zbiorowisk. W tym celu, w latach 2009 – 2012 prowadzono zakrojone na szeroką skalę (ok. 200 nurkowań) bezpośrednie obserwacje podwodne w Północnej Norwegii i w większości fiordów zachodniego Spitsbergenu, operując ze statku lub pontonów. Do szacowania zagęszczenia krabów używano ramek o powierzchni 0.5 m^2 w obrębie których zliczano liczbę napotkanych osobników (rys. 1. b). Takie obserwacje prowadzono w gradiencie głębokości (30, 20, 10, 6 m).

Stwierdzono bardzo niskie bogactwo

are only photographed.

A computer analysis of high definition photographs allows reconstruction of the development (succession) of the settled colonies of arctic fauna, estimation of the pace of growth and inter-species competition. The replaced panels not only enable the tracing of a year-to-year inflow of organisms but also the monitoring of invasive species which begin to appear in the fast changing arctic environment. Diving was also applied with great success in the collection of hermit crabs [45, 46, 47]. The research, devoted in fact to the fauna growing on snail seashells inhabited by those crabs, was to provide information on the distribution, density and habitat preferences of hermit crabs as suppliers of a characteristic mobile ground for such communities. For this purpose, in the years between 2009 – 2012, large scale direct observations (approx. 200 dives) were carried out in North Norway and in the majority of fjords of Western Spitsbergen, managed from vessels or pontoons. Crab population density was estimated with the use of frames having an area of 0.5 m^2 where the number of encountered specimens was counted (fig. 1 b). The observations were conducted within the depth gradient of (30, 20, 10, 6 m). The study confirmed a very low diversity of the hermit crab species, as only two such species were defined (*Pagurus pubescens* and *P. bernhardus)*, which is not odd considering the fact that Spitsbergen is situated near the northern border of their occurrence. Nevertheless, their large populations (even as many as 44 specimens / m^2, on average 10 sp. / m^2) and a large number of organisms growing on their shells (over 110 species) suggested that hermit crabs may constitute an important component of the shallow-water habitats of the researched regions. In fact, a comparison of similar natural and artificial grounds (live snails and stones), also sampled by divers, with the shells used by hermit crabs, revealed that the latter usually sustained a greater number of species and specimens, thus creating a unique basis for biodiversity. Such a trend was particularly visible in places characterised by a soft bottom (e.g. near Diabasodden, Isfjorden), where the hermit crab is often one of the few suppliers of a hard mobile ground [47]. In order to establish the observed regularities and to provide an answer to the question regarding other factors, apart from the crab itself, that control the biodiversity of those communities,

gatunkowe pustelników. Znaleziono zaledwie dwa gatunki (*Pagurus pubescens* oraz *P. bernhardus)*, co nie jest dziwne, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że Spitsbergen leży blisko północnej granicy występowania tych skorupiaków.

Notowano natomiast ich duże liczebności (czasem nawet 44 osobniki/ m^2, średnio 10 os./m^2) i wielką liczbę organizmów porastających noszone przez nie muszle (ponad 110 gatunków) co sugerowało, że pustelniki mogą być ważnym komponentem płytkowodnych siedlisk badanych rejonów. Rzeczywiście, porównanie pobieranych także przy użyciu nurkowania, podobnych podłoży naturalnych i sztucznych (żywych ślimaków i kamieni), z muszlami wykorzystywanymi przez pustelniki pokazało, że muszle tych ostatnich podtrzymują zazwyczaj większą liczbę gatunków i osobników, tworząc unikalne podłoże dla bioróżnorodności. Trend ten był szczególnie dobrze widoczny w miejscach o miękkim dnie (np. w pobliżu Diabasodden, Isfjorden), gdzie pustelniki są często jednymi z niewielu dostarczycieli twardego, mobilnego podłoża [47]. Rozwijając zaobserwowane prawidłowości oraz próbując opowiedzieć na pytanie jakie inne czynniki, poza samym krabem, kontrolują bioróżnorodność tych zbiorowisk, płetwonurkowie prowadzili także podwodne eksperymenty terenowe, rozmieszczając w czterech miejscach na Spitsbergenie (po dwa w pobliżu Bjorndalen i Grumantbyen) i czterech w Północnej Norwegii (Kvalsund i Grotfjord), stelaże z różnymi typami podłożami (muszlami naturalnymi, sztucznymi, rzeźbionymi w granicie, otoczakami). Po roku jaki spędziły na dnie, eksperymenty z sukcesem odnaleziono i wydobyto [48]. Pierwsza i jak do tej pory jedyna, typowo nurkowa, antarktyczna ekspedycja IO PAN miała miejsce w sezonie letnim 2010/2011 podczas XXXIV wyprawy na wyspę Króla Jerzego. Korzystając z zaplecza świetnie ulokowanej Polskiej Stacji Antarktycznej, podczas prawie czterech miesięcy pobytu, opłynięto większą część Zatoki Admiralicji i wykonano w sumie 173 nurkowania o łącznym czasie ponad 83 godzin [49]. Oprócz kilku mniejszych projektów, polegających na poborze próbek okrzemek stowarzyszonych z makro- glonami [50], rdzeni z osadami (rys. 1. c), czy zatapianiu i wydobywaniu podłoży skalnych przy użyciu worków wypornościowych (eksperymenty

divers also conducted underwater field experiments by placing in four different places around Spitsbergen (two near Bjorndalen and two near Grumantbyen) and four in North Norway (Kvalsund and Grofjord) stands with various ground types (natural shells, artificial shells sculptured in granite, pebbles). After a year spent on the sea bottom, the stands were successfully found and recovered [48].

The first, and thus far the only, typically diving-based Antarctic expedition of IO PAN took place in the summer seasons of 2010/2011 during the 34th exploration of King George Island. In a visit that lasted nearly four months, using the facilities of an ideally located Polish Antarctic Station, the researchers were able to circumnavigate a larger part of Admiralty Bay, performing altogether 173 dives of total time exceeding 83 hours [49].

Apart from several smaller projects involving the collection of samples of diatoms associated with macroalgae [50], medullae with residues (fig. 1 c), or the sinking and recovery of rocky grounds with the use of lifting bags (colonisation experiments) [51], the efforts were mainly concentrated on echinoderms, and, in particular, on determining their biodiversity, distribution, number and biomass. Such parameters are especially interesting in the context of carbonate circulation and deposition and the changing pH of water, i.e. the so-called acidification, the most important among the prognosticated problems of the seas and oceans next to climate change. Sea urchins, starfish, ophiurids, holothurians and sea lilies, with their carbonate skeletons manifesting a tendency to dissolve in times of an increasing carbon dioxide concentration in the atmosphere, are a perfect object for this type of research. The assumed objectives were realised by performing field observations, sampling of specimens and preparing photographic documentation of areas of sea bottom laying within pre placed frames possessing an area of 1 m^2 and located at 20 different stations, each with several depth transects (30, 20, 10 and 6 m) (fig. 1 d, e).

Within the total analysed area of 90 m^2 of the sea bottom the researchers confirmed the occurrence of 23 species of echinoderms. In the collected materials the species characterised by greatest diversity was the starfish (15 species, including one without previous records belonging to the Pterasteridae family) and the largest biomass was constituted by sea urchins

kolonizacyjne) [51], wysiłki skupiono głównie na szkarłupniach a konkretnie na określeniu ich bioróżnorodności, rozmieszczenia, liczebności i biomasy. Parametry te są szczególnie interesujące w kontekście obiegu i depozycji węglanów i zmieniającego się pH wody czyli tzw. zakwaszenia, obecnie oprócz zmian klimatycznych najważniejszego z prognozo wanych problemów mórz i oceanów. Jeżowce, rozgwiazdy, wężowidła, ogórki morskie i liliowce należące do szkarłupni, ze swoim węglanowym szkieletem, który w dobie wzrastającego stężenia dwutlenku węgla w atmosferze i oceanach będzie wykazywał tendencję do rozpuszczania się, idealnie nadają się do tego typu badań. Założone cele realizowano prowadząc obserwacje terenowe, pobierając okazy i wykonując dokumentację fotograficzną dna morskiego w obrębie ramek o powierzchni $1m^2$ na 20 stacjach, w każdej na kilku transektach głębokościowych (30, 20, 10 i 6 m) (rys. 1. d, e). Na zanalizowanej w sumie powierzchni 90-ciu m^2 dna stwierdzono występowanie 23 gatunków szkarłupni. W zgromadzonym materiale najbardziej różnorodne były rozgwiazdy (15 gatunków, w tym jeden nie notowany wcześniej należący do rodziny Pterasteridae) a największą biomasę stanowiły jeżowce (głównie z gatunku *Sterechinus neumayeri*). Przeciętnie na $1m^2$ dna notowano 7 osobników należących do 2 gatunków co pokazuje jak ważnym komponentem bentosu Antarktyki są szkarłupnie. Poza silną strefowością badanych zgrupowań wraz z głębokością, wywołaną czynnikami fizycznymi (większe liczba gatunków i osobników głębiej), nie zaobserwowano żadnego jasnego trendu w ich rozmieszczeniu. Pomimo tego, że masy węglanowych szkieletów wykazują znaczne różnice pomiędzy gatunkami, analizy laboratoryjne wykazały, że szkarłupnie jako grupa mają znaczący udział w dostawie węglanów do osadu i w lokalnym obiegu węgla. Średnio w przeliczeniu na metr kwadratowy dna morskiego jest to 13 g węglanów (Ca, Mg, $SrCO_3$).

W świetle uzyskanych wyników, jeżowce jawią się tymi organizmami, które będą najbardziej narażone na prognozowane zmiany pH i chemizmu wód [52]. W 2012 roku w ciągu 80 nurkowań i prawie 60 h pod wodą badania powtórzono w Arktyce [53], co pozwoli na porównanie tych odmiennych, ale podlegających podobnym zmianom, rejonów

(mainly of *Sterechinus neumayeri* species). On average, each $1m^2$ of the sea bottom provided 7 specimens representing 2 species, which proves the significance of echinoderms as a benthos component of the Antarctic. Besides a high dependency between the studied communities and the depth, induced by physical factors (a larger number of species and specimens in the deeper sections), no clear trend in their distribution was observed. Despite the fact that carbonate skeleton masses indicated significant differences between the species, laboratory analyses showed that echinoderms as a group have a considerable impact on carbonate supplies to the sediment and the local carbon circulation. The conducted calculations point to the mean value of 13g of carbonates (Ca, Mg, $SrCO_3$) per 1 square metre of the sea bottom. In the light of the obtained results, sea urchins appear to be the organisms mostly susceptible to the prognosticated pH and water chemistry changes [52]. In 2012, in the course of 80 dives and nearly 60 hours spent under water, the research was repeated in the Arctic [53], which will allow comparisons to be made between these different, yet subject to similar changes, polar regions. The extending spectrum of diving activities and the related scientific results became an encouragement for cooperation with American scientists of the University in Fairbanks, Alaska. In 2011, the IO PAN scientists received an invitation to particulate in research on the impact of nuclear tests on the coastal systems of the Aleutian Islands in the North Pacific. Additionally, research on bryozoans was initiated in these thus far unexplored regions of the world. The entire sample collection procedure was conducted through diving. The most recently commenced projects (years 2012, 2013) were localised in the Arctic, in Spitsbergen, in the region of an extensive fjord system, Isfjorden, ensuring richness of various habitats. The first of them aims at providing a description of sea anemones present in the shallow littoral zone (0-30 m), which form extremely abundant and diversified populations, yet no profound studies have so far been devoted to them. Besides sample collection for the purposes of the histological and genetic analysis of the representatives of this group (fig. 1 f), divers used underwater photography (fig. 1 g).

The photographs of the sea bottom, confined by the provided frames, allowed determination of the species composition

polarnych.

Coraz większe spektrum działań nurkowych i wynikających z nich efektów naukowych przyczyniło się do współpracy z naukowcami amerykańskimi z uniwersytetu w Fairbanks na Alasce. W roku 2011 naukowcy IO PAN zostali zaproszeni do udziału w badaniach wpływu prób nuklearnych na przybrzeżne systemy morskie wysp Aleuckich, zlokalizowanych na Północnym Pacyfiku. Dodatkowo zostały zainicjowane badania mszywiołów z tych nigdy dotąd nie przebadanych rejonów świata. Cały pobór prób był przeprowadzany z użyciem nurkowania.

Ostatnio rozpoczęte projekty (lata 2012, 2013) zlokalizowane były w Arktyce, na Spitsbergenie, w rejonie rozległego systemu fiordowego Isfjorden, zapewniającego bogactwo różnorodnych siedlisk. Pierwszy z nich ma na celu opisanie ukwiałów w płytkiej strefie litoralu (0-30 m), które często tworzą bardzo obfite i różnorodne zgrupowania ale jak dotąd nie doczekały się poważniejszych opracowań. Poza poborem prób, celem analizy histologicznej i genetycznej przedstawicieli tej grupy (rys.1.f), posługiwano się fotografią podwodną (rys. 1.g). Zdjęcia dna morskiego w obrębie ramek pozwoliły na określenie składu gatunkowego i liczebności ukwiałów, w rożnych miejscach fiordu na 30, 20 i 10 m głębokości a także ułatwiły znacznie rozpoznanie poszczególnych gatunków, ponieważ ukwiały słabo zachowują się po konserwacji i tracą swój oryginalny kształt i kolor. Poza tym podjęto próby wypracowania i kalibracji metody, pozwalającej na szybką i efektywną ocenę wielkości badanych organizmów, właśnie na podstawie zrobionych zdjęć [54]. Niejako przy okazji, zaobserwowano także nie notowane nigdy wcześniej związki międzygatunkowe pomiędzy ukwiałami *Cribrinopsis similis*, *Hormathia nodosa* i *Urticina crassicornis* a krabami z rodzaju *Hyas* spp. pozwalające sądzić, że skorupiaki te pod parasolem czułków ukwiałów szukają schronienia przed drapieżnikami [55]. Najnowszy projekt ma na celu opisanie wpływu dużych kolonii ptaków morskich na ekosystemy morskie.

Ptaki te żerują w morzu, a gniazdują na lądzie, tworząc często skupiska sięgające nawet kilkuset tysięcy osobników. Taka masa organizmów, nagromadzona na małej powierzchni, oddziałuje w znacznym stopniu

and the number of sea anemones in different locations within the fjord at the depth of 30, 20 and 10 m, as well as providing a significant facilitation in the recognition of particular species, as sea anemones' behaviour related to their preservation is rather poor and causes them to lose their original shape and colour. Moreover, attempts were made to work out and calibrate a method allowing quick and effective assessment of the size of the researched organisms on the basis of the taken photographs [54]. Also, the study provided an opportunity to observe previously unnoticed inter-species associations between the sea anemones *Cribrinopsis similis*, *Hormathia nodosa, Urticina crassicornis* and *Hyas* spp., thus providing grounds for the presumption that the crustaceans used the sea anemones' disks of tentacles to seek shelter against predators [55].

The objective of the latest project is to determine the impact of large colonies of seabirds on marine ecosystems. Such birds are known to feed in the sea but nest on the land, often forming colonies reaching as many as several thousand specimens. This kind of number of organisms accumulated on a small area has a significant impact on the surrounding environment. In the reproductive period, when they stay within the colony performing a series of flights, the birds transport colossal quantities of organic matter from the sea to a land deprived of nutrients and hence rather unproductive. The matter is deposited in the form of guano and the plants, making use of this type of fertilisation, turn into lush tundra, which becomes the place of habitat and the source of food for animals from higher trophic levels. However, not all biogenes are transferred onto the land. A part of them returns into the sea and, presumably, locally enriches themarine ecosystem through the stimulation of primary production and development of further trophic levels. Nonetheless, whereas the influence of seabirds on terrestrial ecosystem is relatively well recognised, still little is known on the fate of the biogenes returned into the sea. The technique applied within the project, with the goal of defining the participation of matter transported by seabirds in local enrichment of the trophic network of the fjord, is an analysis of isotopic materials sampled by divers in the coastal zone near the rocky precipices inhabited by colonies of the thick-billed murre *Uria lomvia* and the black-legged kittiwake *Rissa tridactyla* [56].

na otaczające je środowisko.

W okresie rozrodczym, kiedy przebywają w kolonii i stale wykonują loty żerowiskowe, ptaki transportują olbrzymie ilości materii organicznej z morza na stosunkowo ubogi w substancje odżywcze i dlatego mało produktywny - ląd. Materia ta deponowana jest w postaci guana a korzystające z takiego użyźniania rośliny tworzą bujną tundrę, która staje się z kolei miejscem do życia i źródłem pokarmu dla zwierząt z wyższych poziomów troficznych. Nie wszystkie biogeny trafiają jednak na ląd. Cześć z nich wraca do morza i prawdopodobnie wzbogaca lokalnie ekosystem morski, poprzez stymulację produkcji pierwotnej i rozwój dalszych poziomów troficznych. O ile wpływ ptaków morskich na ekosystem lądowy jest relatywnie dobrze poznany, o tyle bardzo mało wiadomo o losie biogenów trafiających z powrotem do morza.

W projekcie, udział materii przenoszonej przez ptaki morskie, w lokalnym wzbogaceniu sieci troficznej w fiordzie, badany jest miedzy innymi dzięki analizom izotopowym materiałów pobieranych przez płetwonurków w strefie przybrzeżnej, w pobliżu urwisk skalnych, zamieszanych przez kolonie nurzyków polarnych *Uria lomvia* i mew trójpalczastych *Rissa tridactyla* [56]. Z uwagi na łagodniejsze warunki (wyższe temperatury, obecność światła, brak stałej pokrywy lodowej), nurkowania w ramach wypraw naukowych IO PAN, czy to na Spitsbergenie czy w Antarktyce, były dotychczas prowadzone tylko w sezonie letnim (Arktyka: czerwiec-wrzesień, Antarktyka: listopad-luty). Stąd brak porównywalnych danych z innych sezonów, zwłaszcza z miesięcy zimowych. Problem ten jest ogólnie rozpoznawalny w wysokich szerokościach geograficznych i dotyczy nie tylko danych uzyskiwanych za pomocą nurkowania ale i wszelkich innych metod badawczych. Najnowszą międzynarodową inicjatywą, której zadaniem jest rozpoznanie tego, co dzieje się podczas kilku jak dotąd praktycznie niezbadanych miesięcy w ciągu roku, jest „Marine Night" [57] – projekt, w którym uczestniczy także IO PAN. W ramach jego działań, przewidziane są również nurkowania podczas nocy polarnej (grudzień-luty), planowane na rok 2015. Jednak nawet podczas długich zimowych miesięcy, są to zazwyczaj nurkowania typu„open-water", gdyż stała pokrywa lodowa pojawia

Due to milder conditions (higher temperatures, the presence of light, a lack of a permanent ice cover) the dives performed within the scientific expeditions of the IO PAN, on Spitsbergen or in the Antarctic, have been conducted only in the summer seasons (the Arctic: June-September, the Antarctic: November-February). Consequently, there is a lack of comparative data from other seasons, in particular the winter months.

This problem is generally recognised with regard to greater latitudes and concerns not only the data obtained through diving but all the other research methods as well. The most recent international initiative aimed at investigating what is happening during those several months in the year is known as "Marine Night" [57] – a project in which IO PAN is also engaged. The project provides also for dives taken during polar nights (December-February) scheduled for 2015. However, even during the long winter months these are usually "open-water" dives, as the permanent ice cover appears in the western Spitsbergen fjords as late as in the middle of February. Moreover, with the exception of the Antarctic, in the majority of the researched places the sea has not frozen at all for several years, and the main source of ice in the mentioned regions are calving glaciers, icebergs and drifting ice moved by currents. A lot has changed in polar dives since the times of those first pioneers. Of course, water coldness is still the same (reaching as low as -1.8°C near the Antarctic continent [58], in the western coast of Spitsbergen usually 2-4 °C), however the technological progress that has taken place, significantly facilitates working under water.

At present, with regard to the equipment, diving in the polar regions is barely (if at all) different from winter diving in moderate regions. Today's dry suits and electrically heated jumpsuits allow divers to stay under water for 90 minutespreserving proper body temperature even in cold water with the temperature close to zero. Full face masks not only ensure communication but also guarantee further thermal comfort.

Breathing with warm, humid air with the use of rebreathers would provide even greater convenience, however the rapid advancement of close-circuit technologies, combined with the popularisation of artificial breathing mixes (i.e. nitrox and trimix) allowing prolonged and deeper underwater exposures has not yet been transposed into a broader use in the polar

się w zachodnich fiordach Spitsbergenu zazwyczaj dopiero w połowie lutego. Ponadto, za wyjątkiem Antarktyki, w większości z badanych miejsc, powierzchnia morza w ogóle nie zamarzała od kilku lat a głównym źródłem lodu we wspomnianych rejonach są cielące się lodowce, góry lodowe i lód dryftowy przenoszony wraz z prądami. Od pierwszych, pionierskich czasów wiele się zmieniło w kwestii nurkowań polarnych. Oczywiście woda jest tam ciągle tak samo zimna (w okolicach kontynentu Antarktycznego sięga nawet -1.8°C [58], na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu latem to już zazwyczaj 2-4 °C) ale postęp technologiczny jaki się dokonał znacznie ułatwił pracę pod wodą. Obecnie nurkowanie w rejonach polarnych sprzętowo już niewiele (bądź wcale nie) różni się choćby od nurkowania zimą, w rejonach umiarkowanych. Dzisiaj odziani w ogólnie dostępne suche skafandry, ogrzewane elektrycznie ocieplacze, możemy przebywać pod wodą 90 min utrzymując odpowiednią termikę nawet w wodzie o temperaturze bliskiej zeru.

Pełnotwarzowe maski zapewniają nie tylko komunikację ale dalej podnoszą komfort cieplny. Poprzez oddychanie ciepłym, wilgotnym powietrzem przy użyciu rebreatherów bylibyśmy w stanie marznąć jeszcze mniej, jednak gwałtowny rozwój technologii o obiegu zamkniętym, razem z upowszechnieniem się sztucznych mieszanin oddechowych (tj. nitrox i trimix) przedłużających i pogłębiających podwodne ekspozycje, jeszcze nie przełożył się na ich szersze wykorzystanie w rejonach polarnych. Spowodowane jest to prawdo-podobnie wysokimi kosztami i nieco większym ryzykiem takich nurkowań. Z uwagi na niską temperaturę, skomplikowaną ewakuację i duże odległości do komór hiperbarycznych, zdecydowana większość nurkowań w rejonach polarnych prowadzonych jest bezdekompresyjne. Jak na razie rebreathery, dzięki braku wydychanego czynnika oddechowego, znalazły zastosowanie w badaniach prowadzonych w czasie ekspedycji norweskich nad delikatnymi zbiorowiskami flory i fauny jakie się tworzą na styku połączenia lodu i wody [59], choć zapewne wkrótce wejdą na stałe na wyposażenie także polskich instytucji. Jak dotąd, standardowym sprzętem zespołu z IO PAN są pojedyncze butle i małe i lekkie zestawy

regions. This is probably a consequence of high costs and a slightly greater risk connected with such dives.

Due to the low temperature, a complicated evacuation procedure and large distances from hyperbaric chambers, the majority of dives taking place in the polar regions are conducted without the requirement to perform a decompression procedure. So far, thanks to the lack of an exhaled breathing mix, rebreathers have been applied in research carried out during Norwegian expeditions on fragile flora and fauna communities forming at the edge of ice and water [59], although presumably they will soon become a part of the standard equipment also in Polish institutions.

At the moment, the equipment of the IO PAN team encompasses single cylinders and small, light two-cylinder sets, extremely convenient in the diving works carried out from the decks of small pontoon boats. The recognised and reliable regulators adjusted to working at low water temperatures (e.g. Apex TX 50) have not found a better replacement yet. Therefore, the equipment is the same, whereas the procedures and the logistics of the dives are slightly different due to the fact that the places where they are executed are remote and characterised by quite changeable environmental conditions (strong winds, high waves, currents, changeable ice conditions). In the case of expeditions carried out by IO PAN, most of the heavy equipment is transported to a given region on ships. For Spitsbergen, the ship is s/y Oceania – the only Polish research ship involved in oceanographic research in the open ocean uninterruptedly since 1987 (fig. 1 j), whereas in field research the crew uses small, light but highly efficient pontoon boats (Bombard C5, fig. 1 k, l) with outboard engines sufficient for comfortable transportation of three divers with reserve cylinders for two dives. For more remote places, two pontoons are used ensuring a higher safety level in case one of them fails. The boat equipment, besides an echo sounder and the standard rescue equipment (quoit, first-aid kit, oxygen provider, signal rocket) consists of an additional fuel reserve and dual tracking and communications devices (marine GPS, spot, VHF, satellite phone). Additionally, each diver is provided with a water-proof radiotelephone which they take with them under water. In Svalbard, due to a certain threat related to the presence of

dwubutlowe, bardzo wygodne przy pracach nurkowych prowadzonych z pokładu niedużych łodzi pontonowych. Znane i sprawdzone konstrukcje automatów przystosowanych do pracy przy niskich temperaturach wody (jak np. Apeks TX 50), jak dotąd nie znalazły lepszych odpowiedników. Sprzęt zatem się nie różni, inne są nieco procedury i logistyka samych nurkowań z racji faktu, że są to miejsca oddalone od cywilizacji o dosyć zmiennych warunkach środowiska (silne wiatry, duże falowanie, prądy, zmienne warunki lodowe).

W przypadku ekspedycji prowadzonych przez IO PAN zazwyczaj większość ciężkiego sprzętu transportowana jest w rejon badań na statkach. Jeżeli chodzi o Spitsbergen jest to s/y Oceania - jedyny polski statek badawczy prowadzący badania oceanograficzne na otwartym oceanie, nieprzerwanie od 1987 roku (rys. 1. j).

Na miejscu wykorzystywane są małe, lekkie ale dzielne łodzie pontonowe (Bombard C5, rys. 1. k, l) z zaburtowymi silnikami, wystarczające do komfortowego transportu trzech płetwonurków z zapasem butli na dwa nurkowania. W przypadku dalej oddalonych miejsc, używane są dwa pontony, co zapewnia większy poziom bezpieczeństwa w razie awarii jednego z nich. Wyposażenie na łodzi, oprócz echosondy i standardowych środków ratowniczych (rzutki, apteczki, zestawu tlenowego, rakietnicy sygnalizacyjnej), obejmuje dodatkowe zapasy paliwa oraz zdublowane środki namierzania i łączności (GPS morski, spot, UKF, telefon satelitarny). Dodatkowo, każdy nurkujący posiada ze sobą wodoszczelny radiotelefon zabierany pod wodę. Na Svalbardzie z uwagi na pewne zagrożenie spowodowane obecnością niedźwiedzi polarnych, konieczne jest również posiadanie broni palnej. Generalnie przestrzegamy ogólnie przyjętych zasad i procedur stosowanych w rejonach polarnych [60, 61], ostatnio podsumowanych podczas międzynarodowych warsztatów poświęconych tym zagadnieniom [62].

Optymalne zespoły są trzyosobowe, co pozwala na wykonywanie dwóch nurkowań przez każdego członka grupy, podczas jednego wypłynięcia. Podczas gdy dwójka pracuje pod wodą, jeden pozostaje na zabezpieczeniu na pontonie. Zwykła przerwa powierzchniowa pomiędzy nurkowaniami trwa jedną godzinę. Zdecydowana większość to około 60-cio minutowe nurkowania do głębokości

polar bears it is also necessary to be equipped with firearms. In polar regions it is generally required to observe the general principles and procedures [60, 61] that have been recently reviewed during international workshops devoted to this issue [62]. Optimal teams consist of three persons allowing the performance of two dives by each group member during a single trip. While two persons are working under water, one remains on the pontoon for safety reasons. A usual break on the surface between the dives lasts one hour. The time of the majority of dives reaches 60 minutes and is performed to the depth of 30 metres, although single reconnaissance dives have also been executed to the depth of 60 metres in the region of Fuglefjella (Isfjorden).

The development of underwater research techniques, including equipment guarantying a better thermal comfort and enabling prolonged stays under water in polar conditions, as well as the continuous interest of the world of science in the processes occurring in the coastal areas of the polar seas, will most certainly contribute to an intensification of research with the use of diving in those regions. Undoubtedly the experience gathered so far, together with the results of the research ran by the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences constitute a solid base for future scientific programmes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to extend their gratitude to Karina Kowalska (Museum of Diving), Jan Marcin Węsławski (IO PAN), Stanisław Rakusa-Suszczewski (ZBA), Krzysztof Jażdżewski (UŁ), Bjorn Gulliksen (UiT), Tomasz Janecki (ZBA), Alexander Semeneov (WSBS) for valuable comments and important historical information.

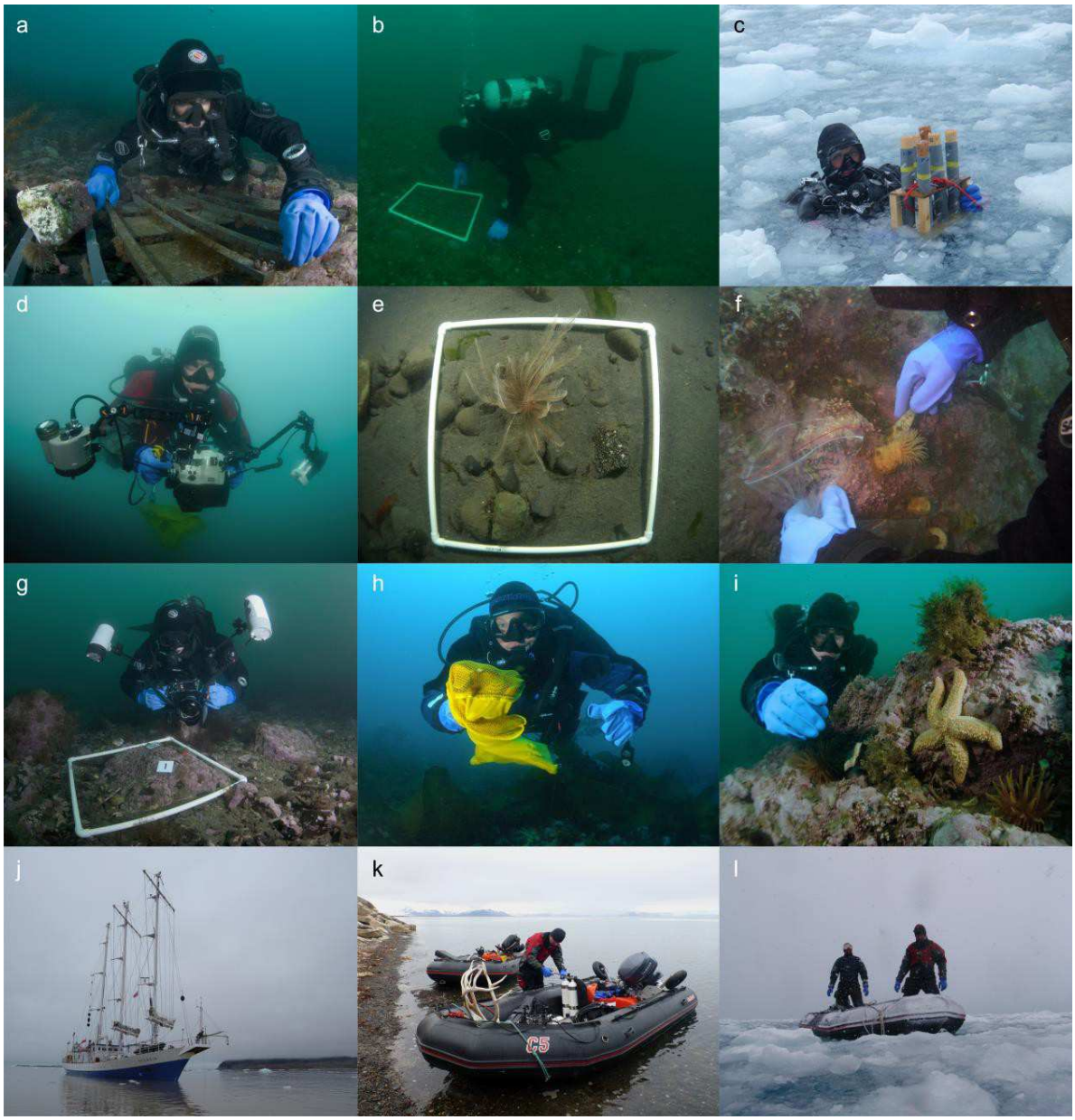
Moreover, we wuold like to thank Agnieszka Kostrzyńska (WFOSiGW), Michał Saniewski (IMGW), Tadeusz Stryjek, Jakub Beszczyński, Katarzyna Zmudczyńska-Skarbek (UG), Tomasz Borszcz (IO PAN), Jarek Dobroszek, Bartosz Witalis (MIR), Tomek Kirzeniewski (IO UG), Adam Sokołowski (IO UG), Marta Ronowicz (IO PAN) as well as all the members of the 34th Arctic Expedition for their help in the implementation of the above projects, the diving club in Longyearbyean for the logistic support.

30 metrów, choć zdarzały się pojedyncze nurkowania rozpoznawcze w okolice 60-ciu metrów w rejonie Fuglefjella (Isfjorden).

Rozwój technik badań podwodnych, w tym sprzętu, który pozwoli na podwyższenie komfortu termicznego i przedłużenie czasu przebywania pod wodą w warunkach polarnych, jak również ciągły wzrost zainteresowania nauki światowej procesami zachodzącymi w strefach przybrzeżnych w morzach polarnych, zapewne przyczynią się do intensyfikacji badań z wykorzystaniem nurkowania w tych rejonach. Dotychczasowe doświadczenia i wyniki badań prowadzonych przez Instytut Oceanologii PAN stanowią niewątpliwie solidną bazę dla przyszłych programów naukowych.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy pragną podziękować Karinie Kowalskiej (Muzeum Nurkowania), Janowi Marcinowi Węsławskiemu (IO PAN), Stanisławowi Rakusie-Suszczewskiemu (ZBA), Krzysztofowi Jażdżewskiemu (UŁ), Bjorn'owi Gulliksen'owi (UiT), Tomaszowi Janeckiemu (ZBA), Alexandrowi Semeneov'owi (WSBS) za cenne komentarze i ważne informacje historyczne. Ponadto dziękujemy Agnieszce Kostrzyńskiej (WFOSiGW), Michałowi Saniewskiemu (IMGW), Tadeuszowi Stryjkowi, Jakubowi Beszczyńskiemu, Katarzynie Zmudczyńskiej - Skarbek (UG), Tomaszowi Borszczowi (IO PAN), Jarkowi Dobroszkowi, Bartoszowi Witalisowi (MIR), Tomkowi Kirzeniewskiemu (IO UG), Adamowi Sokołowskiemu (IO UG), Marcie Ronowicz (IO PAN) oraz wszystkim członkom XXXIV Wyprawy Antarktycznej za pomoc w realizacji ww. projektów, klubowi nurkowemu w Longyearbyean za wsparcie logistyczne.



Rys.1. Przykłady ekologicznych badań prowadzonych z wykorzystaniem nurkowania przez IO PAN. Opisy w tekście. Fot. a, c, g – Piotr Kukliński; b – Agnieszka Kostrzyńska, d, e, h-l – Piotr Bałazy; f – Michał Saniewski.

Fig.1. Examples of ecological research conducted with the use of diving techniques by IO PAN. Description provided in the text. Photos a, c, g – Piotr Kukliński; b – Agnieszka Kostrzyńska, d, e, h-l – Piotr Bałazy; f – Michał Saniewski.

BIBLIOGRAPHY

1. Clarke A., Murphy E. J., Meredith M. P., King J. C., Peck L. S., Barnes D. A., Smith R. C.; Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula; Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences, 362, 2007, 149–166; doi:10.1098/rstb.2006.1958;
2. Schiermeier Q.; The new face of the Arctic; Nature, 446, 2007, 133–135; doi:10.1038/446133a;
3. Salmons D.; Global Warming and Cold Winters; Online (http://www.skepticalscience.com/Global-Warming-Cold-Winters.html) [visited 06.04.2014]
4. Wang M., Overland J. E.; A sea ice free summer Arctic within 30 years-an update from CMIP5 models; Geophysical Research Letters, 2012, doi:10.1029/2012GL052868;
5. Beuchel F., Gulliksen B.; Temporal patterns of benthic community development in an Arctic fjord (Kongsfjord, Svalbard): results of a 24-year manipulation study; Polar Biology 31, 2008, 913–924; doi:10.1007/s00300-008-0429-9;
6. Hop H., Pearson T., Hegseth E. N., Kovacs K. M., Wiencke C., Kwaśniewski S. et al.; The marine ecosystem of Kongsfjord, Svalbard; Polar Research, 21, 2002, 208–208; doi:10.1111/j.1751-8369.2002.tb00073.x;
7. Brueggeman P.; Diving Under Antarctic Ice: A History; Scripps Institution of Oceanography Technical Report; 2003, 41 pp;
8. Rubin J.; Antarctica; 4th edition, Lonely Planet, 2008;
9. Pollock N. W.; Scientific diving in the Antarctic: history and current practice; Diving and Hyperbaric Medicine, 37, 2007, 204–211;
10. Jenkins W. T.; A guide to polar diving; Office of Naval Research, 1976, 90 pp;
11. Svendsen P.; The algal vegetation of Spitsbergen: A survey of the marine algal flora of the outer part of Isfjorden; Norsk Polarinstitutt skrifter, 116, 1959, 5-51;
12. Gulliksen B.; inf. mailowa;
13. Gulliksen B.; Colonization of marine algae and animals on "new" lava grounds at Jan Mayen in 1972; Confederation mondiale des activites subaquaticus. 3 Symposium of the Scientific Committee, 1973, 118-121;
14. Semenov A.; mail information;
15. Orlewicz-Musiał M.; Beginning of Polish diving – before diving become a sport; Humanistic Studies, 2, 2002, 115-130;
16. Samsel J.; Pioneers of underwater photography, p. 1; Ocean Instruments, Komisja Działalności Podwodnej PTTK, 2007, 8-22, ISBN 978-83-61212-00-3;
17. Wojtusiak R. J.; In the depths of the sea. Notes from expeditions of a naturalist in a diving helmet over the sea bottom; Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych,1950;
18. Kowalska K.; Witold Zubrzycki – The first Polish diver; Magazyn Nurkowanie, 1, 2010;
19. Kujawa S.; The first attempts at underwater fauna and flora with the use of C-G regulators in the region of the Bay of Puck; Wszechświat, 7, 1957, 141;
20. Kowalska K.; Two old men.; Magazyn Nurkowanie, 4, 2011;
21. Lipski, M.; Polish dives in the Antarctic; Magazyn Nurkowanie, 9, 1997, 30-32;
22. Janecki T., Pociecha A., Kidawa A.; Polish research on the Antarctic sublittoral with the diving technique and research on fresh water reservoirs in the surrounding of the H. Arctowski PAN Antarctic Station in the first decade of the 21st century; Chrońmy Przyrodę Ojczystą, 67 (3), 2011, 195–209;
23. Jażdżewski K.; My hydrobiological path; Wiadomości Hydrobiologiczne, 204, (8), 2013;
24. Duris Z.; On a small collection of Crustacea Decapoda from the Bellsund region, Spitsbergen; Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen; Lublin, UMCS, 1992, 121-149;
25. Duris Z.; A report on the Czechoslovak Arctic biological and diving expedition “Spitsbergen ‘91”; Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen; Lublin, UMCS, 1992, 191-195;
26. Duris Z.; On a collection of Crustacea Decapoda from the southeastern Svalbard; XX Polar Symposium, Lublin, 1993, 141-157;
27. Duris Z.; A report on the Czechoslovak biological diving expedition “Arctic ‘92”; XX Polar Symposium, Lublin, 1993, 485-493;
28. Węsławski J. M., Wiktor J., Duris Z., Zajączkowski M.; Summer marine biological survey at Bolscheoya, Eastern Svalbard 1992; Arctic Ecology Group Report, 1, 1992, 22 pp;
29. Kautsky H.; Methods for monitoring of phytobenthic plant and animal communities in the Baltic Sea; In: Plinski M. (ed.); The ecology of the Baltic terrestrial, coastal and offshore areas – protection and management; Proc Conf in Sopot. Part 1 – Marine Environment; Gdansk, Poland, 1993, 21–59;
30. Andrulewicz E., Kruk-Dowgiallo L., Osowiecki A.; Phytobenthos and macrozoobenthos of the Slupsk Bank stony reefs, Baltic Sea; Hydrobiologia, 514, 204, 163–170;doi: 0.1023/B:hydr.0000018216.91488.2c
31. Duris Z.; Decapod crustaceans collected in Norwegian and Spitsbergen waters during the summer cruise of the r/v Oceania, 1995; Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen; Lublin, UMCS, 1995, 213-225;
32. Duris Z., Węsławski J. M.; A preliminary examination of ice floes at Isfjorden, Spitsbergen, on a presence of sympagic fauna; Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen; Lublin, UMCS, 1995, 227- 231;
33. Kuklinski P.; Diving and ecological studies in a challenging environment; In: Merkel B., Schipek M.; Research in shallow marine and fresh water systems - 1st International Workshop – Proceedings; Freiberg Online Geology, 22, 2009, 13-19;
34. Kuklinski P., Gulliksen B., Lønne O. J., Węsławski J. M.;. Composition of bryozoan assemblages related to depth in Svalbard fjords and sounds; Polar Biology, 28, 2005, 619-630; doi: 10.1007/s00300-005-0726-5
35. Kuklinski P., Gulliksen B., Lønne O. J., Weslawski J.M.; Substratum as a structuring influence on assemblages of Arctic bryozoans; Polar Biology, 29, 2006, 652-661; doi:10.1007/s00300-005- 0102-5
36. Kuklinski P.; Ecology of bryozoans from Svalbard waters; Doctoral thesis; Institute of Oceanology, 2004;
37. Włodarska-Kowalczuk M., Kuklinski P., Ronowicz M., Legezynska J., Gromisz S.; Assessing species richness of macrofauna associated with macroalgae in Arctic kelp forests (Hornsund, Svalbard); Polar Biology, 32, 2009, 897-905; doi:10.1007/s00300-009-0590-9
38. Ronowicz M., Schuchert P.; *Halecium arcticum*, (Cnidaria, Hydrozoa), a new hydroid from Spitsbergen; Zootaxa 1549, 2007, 55-62;
39. Ronowicz M., Włodarska-Kowalczuk M., Kuklinski P.; Factors influencing hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) biodiversity and distribution in Arctic kelp forests; Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 88, 2008, 1567-1575; doi:10.1017/S0025315408001495
40. Ronowicz M., Włodarska-Kowalczuk M., Kuklinski P.; Depth and substrate-related patterns of species richness and distribution of hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) in Arctic coastal waters (Svalbard); Marine Ecology (Suppl. 1), 2013, 165-

176;doi:10.1111/maec.12034;
41. Ronowicz M., Legeżyńska J., Kuklinski P., Włodarska-Kowalczuk M.; Kelp forest as a habitat for mobile epifauna, case study of *Caprella septentrionalis* Kröyer, 1838 (Amphipoda, Caprellidae) in an Arctic glacial fjord; Polar Research, 32, 2013, 21037; doi:10.3402/polar.v32i0.21037
42. Tatarek A., Wiktor J., Kendall M. A.; The sublittoral macroflora of Hornsund; Polar Research 31, 2012, 1-9; doi:10.3402/polar.v31i0.18900
43. Barnes D. A., Kuklinski P.; Low colonisation on artificial substrata in arctic Spitsbergen; Polar Biology, 29, 2005, 65-69; doi:10.1007/s00300-005-0044-y
44. Kuklinski P., Sokolowski A., Ziolkowska M., Balazy P., Novosel M., Barnes D. A.; Growth Rate of Selected Sheet-Encrusting Bryozoan Colonies Along a Latitudinal Transect: Preliminary Results; In: Ernst A., Schäfer P., Scholz J. (eds.); Bryozoan studies 2010 (Lecture Notes in Earth System Sciences), 143, 2013, 149–161; doi:10.1007/978-3-642-16411-8;
45. Barnes D. A., Kuklinski P., Włodarska-Kowalczuk M.; Richness, abundance and shell use of subarctic and arctic hermit crabs; Marine Biology, 52, 2007, 1133-1142; doi:10.1007/s00227- 007-0762-5
46. Kuklinski P., Barnes D. A., Wlodarska-Kowalczuk M.; Gastropods shells, hermit crabs and Arctic bryozoan richness; Bryozoan Research 2007: Proceedings of the 14th International Bryozoology Association Conference, Boone, North Carolina, July 1-8, 2007; Virginia Museum of Natural History Special Publication no. 15, 2008, 93-100
47. Balazy P., Kuklinski P.; Mobile hard substrata – An additional biodiversity source in a high latitude shallow subtidal system; Estuarine, Coastal and Shelf Science, 119, 2013, 153–161; doi:10.1016/j.ecss.2013.01.004
48. Balazy P.; Factors controlling biodiversity on hard mobile substrate in the shallow Arctic sublittoral; Doctoral thesis; Institute of Oceanology, 2004;
49. Kuklinski P., Balazy P., Stryjek T.; King George Island, the Antarctic; Magazyn Nurkowanie, 1 (194), 2012, 28-35;
50. Majewska R., Kuklinski P., Balazy P., Yokoya S. N., Paternostro Martins A., Monteiro Absher T. et al.; Comparison of diatom communities associated with *Plocamium cartilagineum* (Plocamiales, Plocamiaceae) from different Antarctic seas; Polar Biology, submitted
51. Kuklinski P., Balazy P., Nowak M., Bielecka L.; Factors controlling initial development of polar bryozan assemblages; Bryozoan Studies, in press
52. Borszcz T., Kukliński P., Balazy P.; The ecology of polar echinoderms from the perspective of southern end of the Earth (Admiralty Bay, the Antarctic); in: abstracts of the 34th Polar Symposium in Sosnowiec, 2012, 21;
53. Kuklinski P., Kostrzyńska A., Balazy P., Borszcz T., Saniewski M.; Underwater research in northern end of the Earth – Spitsbergen 2012; Magazyn Nurkowanie, 1 (201), 2013, 18-27;
54. Arctic Actiniaria – west Spitsbergen sea anemones Online (http://www.iopan.gda.pl/projects/biodaff/actiniaria/index.html) [visited 06.04.2014]
55. Balazy P., Kuklinski P., Sanamyan N.; Hyas spp. crabs and sea anemones—new species associations from Svalbard; Marine Biodiversity, 2014, doi:10.1007/s12526-014-0203-x;
56. Zmudczyńska-Skarbek K., Balazy P., Kuklinski P.; Influence of seabirds on local enrichment of the Arctic coastal benthic communities; Marine Biology, submitted;
57. Mare incognitum – unraveling the mysteries of Arctic marine systems Online (http://www.mare-incognitum.no/) [visited 06.04.2014];
58. Kuklinski P., Balazy P.; Scale of temperature variability in the maritime Antarctic intertidal zone; Journal of Sea Research, 85, 2014, 542–546; doi:10.1016/j.seares.2013.09.002;
59. Assmy P., Ehn J. K., Fernández-Méndez M., Hop H., Katlein C., Sundfjord A. et al.; Floating Ice, Algal Aggregates below Melting Arctic Sea Ice; PLOS One, 8 (10), 2013, e76599; doi:10.1371/journal.pone.007659;
60. Lang M. A., Stewart J. R. (eds.); Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences Polar Diving Workshop. California, May 20-21, 1991; Costa Mesa, California, American Academy of Underwater Sciences, 100 pp
61. Jewett S. C. (ed.); Cold Water Diving for Science; Proceedings of the 21st Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences; 2001, AK-SG-01-06, Fairbanks, University of Alaska Sea Grant, 98 pp
62. Lang M. A., Sayer M. J. (eds.); Proceedings of the International Polar Diving Workshop. Svalbard, March 15-21, 2007; Washington, DC, Smithsonian Institution, 213 pp.

dr Piotr Bałazy
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk
Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot
tel.: (+ 48 58) 731 17 83
fax: (+ 48 58) 551 21 30
e-mail: balazy@iopan.gda.pl

dr hab. Piotr Kukliński
Department of Life Sciences
Natural History Museum, Cromwell Road
London SW7 5BD
United Kingdom

dr Maria Włodarska – Kowalczuk
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk
Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot
tel.: (+ 48 58) 731 17 83
fax: (+ 48 58) 551 21 30

CHEMICAL WARFARE AGENTS IN THE BALTIC SEA

BOJOWE ŚRODKI TRUJĄCE W MORZU BAŁTYCKIM

БОЕВЫЕ ОТРАВЛЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА ПОТОПЛЕННЫЕ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Bogumił Filipek [1)], Romuald Olszański [1)], Władysław Harmata [2)], Piotr Siermontowski [1)]

1) Maritime & Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine, Gdynia, Poland
1) Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowy Instytut Medyczny Gdynia
2) Department of Radiochemistry and Contamination Monitoring Institute of Chemistry, Faculty of Advanced Technologies and Chemistry, Military University of Technology., Warsaw, Poland
2) Zakład Radiometrii i Monitoringu Skażeń Instytut Chemii Wydział Nowych Technologii i Chemii WAT, Warszawa

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The practice of sinking German chemical warfare agents (CWA), mainly sulphur mustard, was implemented in the years 1946-1947. At that time nearly 300 thousand tonnes of CWA were deposited, mostly in the Baltic Sea. Due to the dangerous and costly process of CWA recovery and neutralisation, the only possible manner of proceeding consists in their close monitoring. Still, there are occasional reports on sulphur mustard burns of fishermen, holidaymakers or divers.
Key words: chemical warfare agents, the Baltic Sea, hazards for divers, sulphur mustard.

Zatapianie niemieckich bojowych środków trujących (BST), głównie iperytu siarkowego odbywało się głównie w latach 1946–1947. Zatopiono wówczas około 300 tys. BST ton głównie w Morzu Bałtyckim. Z uwagi na niebezpieczny i bardzo kosztowny proces wydobywania i zobojętniania BST, jedynym możliwym postępowaniem pozostaje ich monitorowanie w Bałtyku. Od czasu do czasu dochodzi do oparzeń iperytem siarkowym rybaków, wczasowiczów czy nurków.
Słowa kluczowe: bojowe środki trujące, Bałtyk, zagrożenia dla płetwonurków, iperyt siarkowy.

Затопление немецких отравляющих веществ (BST), в основном сернистого иприта, произошло в 1946-1947 гг. Тогда затонуло около 300 тысяч тонн BST, в основном в Балтийском море. В связи с опасным и очень дорогостоящим процессом извлечения и нейтрализации BST, единственным возможным способом является мониторинг за ними в Балтийском море. Время от времени доходит до ожогов сернистым ипритом рыбаков, водолазов и отдыхающих.
Ключевые слова: боевые отравляющие вещества потопленные в Балтийском море, опасность для водолазов, иприт сернистый.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 85 – 94

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

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.5
Pages: 10, figures: 0, tables: 1.

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

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Bojowe środki trujące (BST) są związkami chemicznymi występującymi w postaci gazów, cieczy lub ciał stałych, które w odniesieniu do organizmów żywych wykazują zróżnicowane działanie toksyczne o charakterze ogólnotrującym, duszącym, drażniącym, parzącym lub paralityczno-drgawkowym.

Masowe użycie BST miało miejsce w I wojnie światowej we Francji. W latach 1914-1918 wyprodukowano łącznie 180 tys. ton, z czego w walkach zużyto 125 tys. ton. W latach 1919-1939, a także w czasie II wojny światowej produkcja BST nie uległa zmniejszeniu. Zmienił się jednak profil tej produkcji. Pokazały się nowo odkryte związki fosforoorganiczne – tabun i sarin. Znaczenie bojowe zachowały: iperyt siarkowy, luizyt i adamsyt.

Problem BST istnieje w Chinach, Japonii, Włoszech, Anglii, Francji, Kanadzie i szeregu innych krajów. Ogromne ich ilości, zarówno te, które pozostały po I wojnie światowej, jak i te z II wojny światowej oraz wyprodukowane w okresach międzywojennych podlegały i będą podlegać procesom niszczenia. Niszczenie ogromnych arsenałów BST opierało się głównie na sposobie „bezpiecznego ich rozpraszania", zakopywania w ziemi, spalania na otwartej przestrzeni, rzadziej niszczeniu chemicznym. Głównie jednak broni chemicznej pozbywano się poprzez zatapianie jej w akwenach morskich.

Akwenami, w których została masowo topiona amunicja chemiczna są: Ocean Atlantycki, Ocean Spokojny, Zatoka Biskajska; morza: Bałtyckie, Północne, Białe, Ochockie, Karskie, Barentsa, Japońskie [1,2,3].

Zatapianie niemieckiej amunicji chemicznej odbywało się głównie w latach 1946–1947. Zatopiono wówczas około 300 tys. ton głównie w Morzu Północnym, w cieśninach Skagerrak i Kattegat oraz w Morzu Bałtyckim, głównie w Głębi Bornholmskiej i Gotlandzkiej oraz 26 mil na północny wschód od Kołobrzegu, 24 mile na północny wschód od Ustki i 5–10 mil na północny wschód od Helu.

W Bałtyku zatopiono 42–65 tys. ton amunicji zawierającej 6–13 tys. ton BST. Środki te były umieszczone w około 600 tys. sztuk amunicji i pojemników. Amunicja ta składa się głównie z pocisków artyleryjskich (105–150 mm), bomb lotniczych (50, 250, 500 kg), min, fugasów, świec i granatów dymnych. Wśród pojemników znajdowały się głównie beczki i kanistry [6].

Chemical warfare agents (CWA) are chemical compounds in the form of gases, liquids or solids, with diversified toxic effects on living organisms, from generally poisonous, asphyxiating, irritating, burning to paralytic and convulsive.

Mass use of CWA took place during World War I in France. In the years 1914-1918 the production reached the total of 180 thousand tons, with 125 thousand tons used in combat. Between 1919-1939 and during the period of World War II, the production of CWA was maintained at the same level. However, the character of the production did change. At that time, newly discovered phosphoorganic compounds began to be used - tabun and sarin. Sulphur mustard, lewisite and adamsite on the other hand still maintained their significance among warfare agents.

The issues related to CWA are existent in China, Japan, Italy, England, France, Canada and a number of other countries. Their large quantities, including both the deposits from World War I and World War II and those manufactured in the period between the wars have been and still will be subjected to destructive processes. The destruction of the enormous CWA arsenals was based mostly on their "safe dispersion", burying in the ground, burning in open spaces, and, more seldom, on chemical neutralisation. However, commonly chemical weapons were disposed of by being sunken in the seas and oceans. The locations where chemical ammunition were dumped in large quantities include: the Atlantic Ocean, the Pacific, the Bay of Biscay; and the seas: the Baltic Sea, the North Sea, the White Sea, the Sea of Okhotsk, the Kara Sea, the Barents Sea and the Sea of Japan [1,2,3].

The sinking of German chemical ammunition was executed mainly in the years 1946-1947. Approximately 300 thousand tons were sunk in that period in the North Sea, in the Skagerrak and Kattegat areas as well as in the Baltic Sea, mainly in the Bornholm and Gotland Depth and 26 miles to the north-east from Kołobrzeg, 24 miles to the north-east from Ustka and 5-10 miles to the north-east from Hel.

About 42-65 thousand tons of ammunition containing 6-13 thousand tons of CWA were deposited in the Baltic Sea. The chemical agents were placed in ca. 600 thousand pieces of ammunition and containers. The ammunition mainly consisted of artillery

Z posiadanych dotychczas informacji wynika, że dla ludzi najgroźniejszym BST zatopionym w morzach jest iperyt siarkowy. Dlatego też dalsze rozważania dotyczyć będą tego właśnie związku trującego [7].

W wyniku powojennej likwidacji broni chemicznej i zatapianiu jej w zbiornikach wodnych, już od kilkudziesięciu lat „król" bojowych środków trujących – iperyt – spoczywa na dnie Bałtyku usypiany morskimi falami. Od czasu do czasu dochodzi jednak (głównie za sprawą ludzi) do kontaktu iperytu z rybakami, rzadziej z wczasowiczami. Na kontakt z iperytem narażeni są również płetwonurkowie. Płetwonurkowanie w ostatnich latach stało się bardzo modne. W Polsce ludzi uprawiających nurkowanie turystyczne jest już kilkaset tysięcy i liczba ta z roku na rok powiększa się. Nurkowanie w Bałtyku jest atrakcyjne chociażby z tego powodu, że na dnie tego niewielkiego i względnie płytkiego akwenu wodnego spoczywa około tysiąca wraków. Z uwagi na coraz większe zapotrzebowanie na „złoto Bałtyku" – bursztyn dochodzi do jego pozyskiwania spod wody, a tym samym do możliwości kontaktu z iperytem, który może przypominać wyglądem bryłę bursztynu lub gliny.

Iperyt siarkowy, główny bojowy środek trujący z grupy parzących, jest cieczą oleistą koloru ciemnobrunatnego (chemicznie czysty jest bezbarwny) o słabym zapachu czosnku lub musztardy. Łatwo wsiąka w materiały pochodzenia organicznego (skórę, drewno, gumę) oraz w materiały porowate. W wodzie rozpuszcza się źle, dobrze natomiast w rozpuszczalnikach organicznych i w tłuszczu. W wodzie hydrolizuje powoli na kwas solny i tiodwuglikol – związek nietrujący. Chloraminy w roztworze dwuchloroetanu i innych rozpuszczalnikach bardzo energicznie reagują z iperytem inaktywując go, co wykorzystuje się do usuwania ze skóry i sprzętów.

Przy działaniu miejscowym występują zmiany skórne, w drogach oddechowych, na spojówce I gałce ocznej oraz w przewodzie pokarmowym. Okres utajonego działania wynosi od 2 do 24 godzin w zależności od ilości, drogi wchłaniania i właściwości osobniczych danego organizmu. Iperyt w postaci kropel, mgły i par osiadający na ludzkiej skórze jest szybko przez nią wchłaniany, nie wywołując przy tym bólu.

ammunition (105-150 mm), aerial bombs (50, 250, 500 kg), mines, fougasses, flares and smoke grenades. The containers included mainly barrels and canisters [6].

According to current knowledge, the most hazardous CWA sunken in the seas with regard to humans is sulphur mustard. Therefore, our further deliberations will be concerned with this particular toxic substance [7].

As a consequence of postwar liquidation of chemical weapons consisting in their sinkage in different locations, the "king" among the toxic warfare agents – sulphur mustard - has been resting on the bottom of the Baltic, rocked by the waves for several dozen years now. From time to time it enters in to contact (mainly due to the activities of man) with fishermen, or, on rarer occasions, with holidaymakers. Divers are also at risk of interaction with sulphur mustard, especially since diving has become a very fashionable sport. In Poland there are already several hundred thousand people that engage in recreational diving, and this number tends to grow on a year-to-year basis. Diving in the Baltic is particularly attractive as at the bottom of this relatively small and shallow body of water one may find approximately a thousand shipwrecks.

Due to a growing demand for "the Baltic gold" - amber, constant attempts are made at its recovery from the sea bottom, thus leading to an increased risk of coming into contact with sulphur mustard, which may resemble a piece of amber or clay.

Sulphur mustard, the main toxic warfare agent from the group of burning agents, is an oily liquid with dark-brown colour (colourless in chemically pure form) and with a faint scent of garlic or mustard. It easily infiltrates organic materials (skin, wood, rubber) and poriferous materials. It is characterised by poor solubility in water, whereas it is soluble in organic solvents and in fats. Sulphur mustard slowly hydrolyses in water into hydrochloric acid and thiodiglycol - a non-toxic compound. Chloramines in dichloroethane solution and other solvents react violently with sulphur mustard thus causing its deactivation, which is used in its removal from the skin and equipment.

Its local effects include lesions on the skin, in the respiratory tract, in the conjuctiva and the eyeballs as well as in the alimentary tract. The duration of its latent effect ranges

Po upływie kilku godzin na skórze pojawiają się zaczerwienienia i obrzęk, odczuwa się swędzenie. Rumień po pewnym czasie cofa się przyjmując barwę fioletową, potem brunatną. W cięższych przypadkach w końcu pierwszej doby pojawiają się pęcherzyki, które zwykle łączą się w pęcherze, wypełnione przeźroczystą, żółtą cieczą. Pęcherze te są bardzo wrażliwe na urazy mechaniczne i wtórne zakażenie. Powstaniu pęcherzy towarzyszy ogólne osłabienie i podwyższona temperatura ciała.

Po upływie 2–3 dni pęcherze pękają tworząc głębokie, trudno gojące się (tygodniami) owrzodzenia skóry. Nieraz dopiero po 30–40 dniach zaczyna wytwarzać się ziarnina. Minimalna dawka powodująca rumień skóry wynosi 0,07 mg/cm^2.

Iperyt jest trucizną komórkową, łatwo wiąże się z różnymi komponentami komórki, takimi jak aminokwasy, peptydy i białka przez ich alkilację. Efekty cytotoksyczne objawiają się pod postacią zaburzeń metabolicznych w komórce, takich jak uszkodzenie enzymów komórkowych, nieprawidłowy podział komórki, jej rozpad. W organizmie makroskopowo objawia się to tworzeniem pęcherzy i owrzodzeń na skórze, uszkodzeniem szpiku kostnego, uszkodzeniem narządów miąższowych.

W polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku odnotowano 23 kontakty z BST, głównie w latach 50. i 70. Przedstawia to tab. 1

from 2 to 24 hours, depending on the quantity, the place of absorbance and individual properties of a given organism. Sulphur mustard settling on human skin in the form of drops, fog and vapour is absorbed quickly, without causing pain. After several hours, red marks and swelling appear on the skin, producing an itching sensation. The erythema recedes after a certain time, first adopting a violet and then brown colour. In more severe cases, blisters occur at the end of the first 24-hour period, and usually later become combined into larger ones, filled with transparent yellow liquid. The blisters are highly sensitive to mechanical injuiries and secondary infections. The occurrence of blisters is commonly accompanied with general weakness and an increased body temperature. After 2-3 days the blisters burst and turn into deep and hard to heal (for weeks) skin ulceration. Often, granulation begins to form as late as after the lapse of 30-40 days. The minimum dose causing skin erythema amounts to 0.07 mg/cm^2. Sulphur mustard is a cellular poison that easily combines with various cell components such as aminoacids, peptides and protein through their alkylation. The cytotoxic effects take the form of metabolic disorders in a cell, such as damaging of cellular enzymes, irregular cell division and disintegration. The macroscopic image reveals the formation of blisters and ulceration of the skin and, damageing toof the bone marrow and parenchymal organs.

Within the Polish economic zone of the Baltic Sea, 23 contacts with CWA were reported, mainly in the 1950s and 1970s. This is shown in tab. 1.

Tab 1.

Liczba kontaktów z iperytem wyłowionym z Bałtyku w poszczególnych latach.

The number of contacts with sulphur mustard recovered from the Baltic Sea in particular years.

Year	Quantity	Year	Quantity	Year	Quantity	Year	Quantity	Year	Quantity	Year	Quantity
1952	3	1953	1	1954	3	1955	1	1961	1	1971	2
1974	2	1976	2	1977	4	1979	3	1997	1		

Przypadki poparzenia iperytem wyłowionym z Bałtyku miały miejsce: w 1955 roku, na plaży, gdzie poparzeniu uległo 120 dzieci z Żywca, przebywających na koloniach letnich w Darłówku, w 1961 roku

The cases of burns with sulphur mustard recovered from the Baltic Sea were reported: in 1955, on a beach, affecting 120 children from Żywiec having a summer camp; in 1961 four fishermen from Kołobrzeg were burned with

poparzonych iperytem zostało czterech rybaków z Kołobrzegu, w 1976 roku – sześciu rybaków z Darłowa, w 1977 roku – dwunastu rybaków z Kołobrzegu, Darłowa i Ustki, w 1979 roku – czterech rybaków z Kołobrzegu i Władysławowa, w 1997 roku – czterech rybaków z Władysławowa. Ogółem w wyniku kontaktu z iperytem skażeniu uległo 165 osób, w tym 45 rybaków [4,5,6].

Do liczby tej należy dodać 60 osób - rybaków polskich oddających rybę na Bornholmie i 32 osoby – Polaków pracujących w przetwórni ryb na Islandii, gdzie przerabiano rybę złowioną w Bałtyku.

Kontakty z iperytem mieli również rybacy duńscy, niemieccy i szwedzcy. Np. w Danii od 1976 roku odnotowano 439 takich kontaktów, w tym aż 101 w 1991 roku (W Danii każdy potwierdzony kontakt rybaków z iperytem w morzu poza rejonem zatopienia BST łączy się z rekompensatą.) Rybacy polscy niestety nie korzystają z takich dobrodziejstw.

W Polsce w minionym okresie problemu BST zatopionych w Bałtyku raczej nie nagłaśniano. Natomiast po oparzeniu iperytem rybaków z Władysławowa w 1997 roku ukazał się cały szereg artykułów o sensacyjnych tytułach np., „Bombowy śmietnik", „Iperytowe morze", „Śmierć czyha w Bałtyku", „Bałtyk z trupią czaszką".

Ostatni kontakt polskich rybaków z iperytem miał miejsce w dniu 09.01.1997 roku. Tego dnia załoga kutra WŁA-206 dokonywała połowu ryb w odległości 20 mil na północ od Władysławowa. Złowiono ok. 30 kg ryb oraz ok. 6 kg substancji kolorem i wyglądem przypominającej bryłę bursztynu. Podczas kolejnego trału nastąpiła awaria i kuter wrócił do portu, gdzie nieznaną substancję wyrzucono na śmietnik. Dnia 10.01.1997 r. o godz. 12.00 lekarz zakładowy PPiUR „Szkuner" z Władysławowa powiadomił telefonicznie Państwowy Terenowy Inspektorat Sanitarny w Pucku o pacjentach, u których stwierdzono poparzenie rąk i twarzy nieznanym środkiem chemicznym – byli to rybacy z kutra WŁA-206. Informację tę pracownik PTIS w Pucku przekazał do:

1. Państwowej Wojewódzkiej Inspekcji Sanitarnej w Gdańsku,
2. Inspekcji Pracy w Gdańsku,
3. Urzędu Morskiego w Gdyni,
4. Instytutu Medycyny Morskiej i Tropikalnej w Gdyni,

sulphur mustard; in 1976- six fishermen from Darłowo; in 1977 - twelve fishermen from Kołobrzeg, Darłowo and Ustka; in 1979 - four fishermen from Kołobrzeg and Władysławowo; in 1997 - four fishermen from Władysławowo. In total 165 people, including 45 fishermen, were contaminated due to contact with sulphur mustard [4,5,6].

However, this number should be expanded to include an additional 92 people, these being: 60 Polish fishermen delivering fish on Bornholm as well as another 32 Polish workers at a fish-processing plant on Iceland, processing fish caught in the Baltic Sea.

Moreover, fishermen from Denmark, Germany and Sweden are known to come into contact with sulphur mustard. For instance since 1976, 439 such contacts were reported in Denmark, with 101 of them taking place in 1991 (in Denmark each fishermen who has a confirmed contact with sulphur mustard in areas beyond the CWA dumping sites is compensated financially, whereas Polish fishermen unfortunately are not entitled to any such benefits).

At the moment, there are no recently publicised reports on the issues related to the CWA deposits in the Baltic Sea. However, after the incident of 1997 involving fishermen from Władysławo, a number of articles were published with such sensational titles as: "A Bomb Dumpster", "The Mustard Sea", "Death Waiting in the Baltic", "The Skull-Marked Baltic"

The last contact of Polish fishermen with sulphur mustard took place on 09/01/1997. On that day, the crew of a fishing boat WŁA-206 was fishing 20 miles to the north of Władysławowo. The catch consisted of ca. 30 kg of fish and ca. 6 kg of a substance resembling a piece of amber. During the next trawl there was a failure and the boat returned to port, where the unidentified substance was thrown away into a dumpster. On 10/01/1997 at 12.00 pm, a medical officer of PPiUR (Fisheries and Fishery Services Company) "Szkuner" from Władysławowo informed via telephone the National Sanitary Inspectorate in Puck on having examined patients with burns on the hands and face due to contact with an unknown chemical substance - these were the fishermen from the fishing boat WŁA-206. This information was reported by an employee of the Inspectorate to:

1. State Local Sanitary Inspection in Gdańsk,

5. Weterynaryjnej Inspekcji Sanitarnej w Pucku,
6. Dyrekcji PPiUR „Szkuner" we Władysławowie,
7. Kapitanatu Portu we Władysławowie,
8. Jednostki Straży Granicznej we Władysławowie.

Akcja ta miała miejsce w piątek w godz. 12.00–14.00. Wykazała ona całkowity brak wiedzy u osób odbierających telefony co do zasad postępowania w podobnej sytuacji. Były nawet osoby, które radziły poczekać do poniedziałku, bo to już koniec pracy no i weekend.

W tym samym dniu o godz. 18.20 do Władysławowa przybyła grupa specjalistów z 55 Kompanii Przeciwchemicznej Marynarki Wojennej i rozpoczęła neutralizację kutra, śmietnika i wysypiska śmieci, na które wcześniej wywieziono zawartość śmietnika. Poparzonych ośmiu członków załogi kutra przewieziono do Szpitala Marynarki Wojennej w Gdańsku. W Izbie Przyjęć szpitala czterech poparzonych zakwalifikowano do leczenia szpitalnego, pozostałych czterech do leczenia ambulatoryjnego.

W leczeniu porażonych stosowano leczenie miejscowe, antybiotykoterapię oraz leczenie chirurgiczne (usuwanie martwicy skóry).

Chory T.C. lat 19 hospitalizowany od 10.01. do 05.02.1997 roku z powodu: oparzenie chemiczne I/II° skóry twarzy okolicy czołowej, oczodołowych, policzkowych. Oparzenie II° skóry grzbietu prącia. Oparzenie I° okolicy szyi i karku. Łącznie oparzenia obejmowały około 7% powierzchni ciała. Pierwsze objawy oparzenia w postaci piekących zmian rumieniowych wystąpiły po kilkunastu godzinach od wyłowienia nieznanej substancji.

Trzeciego dnia pobytu w szpitalu wytworzyły się pęcherze surowicze okolicy czołowej lewej i kąta zewnętrznego oka prawego oraz na skórze grzbietowej strony prącia. Pęcherze pękały, a na ich miejscu pojawiały się nadżerki i płytkie, trudno gojące się drobne owrzodzenia. W wyniku leczenia uzyskano wygojenie wszystkich zmian skórnych.

Chory M.J. lat 34 hospitalizowany od 10.01. do 29.01.1997 roku z powodu: oparzenie chemiczne I° skóry policzka i oczodołu lewego, oparzenie chemiczne I/II° palców III,IV i V ręki lewej oraz palca II ręki prawej. Łącznie oparzenia obejmowały około 4% powierzchni ciała.

2. Labour Inspection in Gdańsk,
3. Maritime Office in Gdynia,
4. Institute of Marine and Tropical Medicine in Gdynia,
5. Veterinary Sanitary Inspection in Puck,
6. Management of PPiUR "Szkuner" in Władysławowo,
7. Port Authorities of Władysławowo,
8. Border Guard Units in Władysławowo.

This took place on Friday between 12.00 pm-2.00 pm. The operation revealed a complete lack of knowledge among people answering the phones with regard to procedures adopted in such situations. Some of them even recommended waiting until Monday, as it was the end of the working day on a Friday before the weekend.

On the same day, at 6.20 pm a group of experts from the 55th Company for the Protection of Chemical Warfare Agents of the Polish Navy arrived and began neutralisation of the boat, dumpster and the landfill onto which the contents of the dumpster had been transported. Eight fishermen with burns were transferred to the Naval Hospital in Gdańsk. In the admission room, four of the patients were qualified for hospitalised treatment and four for out-patients' clinic treatment.

The applied treatment involved local therapy, antibiotic therapy and surgical treatment (removal of skin necrosis).

Patient T.C., aged 19, hospitalised from 10.01. to 05.02.1997 due to: I/II° chemical burns of the face in the frontal areas, areas of the orbital cavities and cheeks. II° burn of the dorsum of the penis. I° burn in the neck and nape areas. In total, the burns covered approximately 7% of the body. The first symptoms in form of burning erythematous changes appeared after more than ten hours from the recovery of unknown substance. On the third hospitalisation day, blisters filled with serous fluid were formed in the frontal area of the face, the outer corner of the right eye, as well as on the skin on the dorsum of the penis. After the blisters burst, they were replaced with erosions and shallow, difficult to heal ulceration. The applied treatment resulted in healing of all the cutaneous lesions.

Patient M.J., aged 34, hospitalised from 10/01 to 29/01/1997 due to: I° chemical burn of the skin on the left cheek and orbital cavity, I/II° chemical burns of the 1st, 4th and 5th fingers of the left hand and the 2nd finger of the right hand.

Chory A.K. lat 41 hospitalizowany od 10.01. do 29.01.1997 roku z powodu: oparzenie chemiczne I/II° skóry twarzy okolicy oka prawego, szyi i karku. Oparzenie chemiczne I/II° przestrzeni międzypalcowych II–III i II–IV ręki lewej. Oparzenie chemiczne I/II° (skóry grzbietu penisa). Łącznie oparzenia obejmowały 8% powierzchni ciała. Jak podaje pacjent, w czasie wciągania sieci rybackiej na kuter wydobyto przedmiot, który przekładał z sieci na pokład kutra, a po przybyciu do portu, z kutra na keję.

Chory T.K. lat 46 hospitalizowany od 10.01. do 05.02 1997 r. z powodu: oparzenie chemiczne I/II° skóry (obu kończyn górnych okolic rąk, przedramion i ramion). Oparzenia obejmowały łącznie około 16% powierzchni ciała.

U leczonych ambulatoryjnie czterech rybaków stwierdzono oparzenia I° skóry rąk lub twarzy na niewielkiej przestrzeni nie przekraczającej 1% powierzchni ciała. Różnorodność nasilenia skażeń skórnych spowodowana była różnym czasem oraz powierzchnią kontaktu z środkiem trującym, którym okazał się iperyt. Zwraca uwagę fakt, iż najmniejsze nasilenie oparzeń wystąpiło u osób posługujących się rękawicami ochronnymi. Jedynym wytłumaczeniem powstania oparzeń u osób nie kontaktujących się bezpośrednio z bryłą iperytu było korzystanie ze wspólnego ręcznika na pokładzie kutra oraz przedmiotów na pokładzie skażonych iperytem. Wystąpienie zmian skórnych na zakrytych częściach ciała było następstwem dotykania ich skażonymi rękami. Wszyscy poparzeni leczeni w szpitalu zostali wypisani w stanie dobrym [4,5].

POSTĘPOWANIE W PRZYPADKU BEZPOŚREDNIEGO KONTAKTU CZŁOWIEKA Z BST

1. Przedmiotów nieznanych znalezionych na plaży lub w wodzie Bałtyku (np. przypominających bryłę gliny lub bursztynu) nie dotykać gołymi rękami;
2. Nieznaną substancję ze skóry usunąć suchą gazą lub watą.
3. Miejsce skażone przemyć ciepłą wodą z mydłem.
4. Miejsce skażone: przemyć 5% roztworem monochloraminy.
5. Zastosować zestaw IPP – Indywidualny Pakiet Przeciwchemiczny.
6. Nie używać rozpuszczalników organicznych (alkoholu, benzyny, nafty, oleju napędowego).

In total, the burns covered approximately 4% of the body. Patient T.C., aged 41, hospitalised from 10.01. to05.02.1997 due to: I/II° chemical burn of the face in the right eye area, and the areas of the neck and nape. I/II° chemical burn of interdigital spaces between the 2nd-3rd and 2nd-4th fingers of the left hand. I/II° chemical burn of the skin of the dorsum of the penis. In total, the burns covered 8% of the body. According to the patient's relation, an object was recovered when the fishing net was being pulled up, which he then transferred onto the deck, and, after reaching the port, again from the deck into the quay.

Patient T.C., aged 46, hospitalised from 10.01. to 05.02.1997 due to: I/II° chemical burns of the skin (both upper extremities, upper areas of the hands, forearms and arms). In total, the burns covered approximately 16% of the body.

The non-hospitalised fishermen were diagnosed with I° burns on the hands or face, affecting small areas that did not exceed 1% of the body surface. The diversity in the intensification of skin contamination was caused by differences in the duration and surface of the contact with a toxic substance, i.e. the sulphur mustard. It should also be noted that the burns of the lowest intensity occurred in persons wearing protective gloves. The only explanation for the detection of burns in persons not having direct contact with sulphur mustard was the fact of using a shared towel as well as other objects present on the deck of the contaminated boat by crew members. The occurrence of cutaneous lesions on the covered parts of the body was a consequence of touching them with contaminated hands. All of the hospitalised patients were discharged in good condition [4,5].

THE PROCEDURE IN THE CASE OF A DIRECT CONTACT OF HUMANS WITH CWA

1. The unidentified objects recovered on the beach or in the waters of the Baltic Sea (for instance, resembling a clump of clay or a piece of amber) must not be touched with bare hands.
2. An unknown substance should be removed from the skin with dry gauze or cotton wool.
3. The contaminated area should be washed with warm water and soap.
4. Wash the contaminated area with 5% monochloramine solution.

7. Powiadomić najbliższą jednostkę wojskową, placówkę policji, straży granicznej lub służby zdrowia.

Po oparzeniu iperytem rybaków z Władysławowa w styczniu 1997 roku Urzędy Morskie opracowały „Instrukcję postępowania w przypadku wyłowienia amunicji chemicznej". Instrukcja taka obecnie znajduje się na każdym kutrze rybackim, a załoga kutra powinna być z nią zapoznana i umieć posługiwać się Indywidualnym Pakietem Przeciw-chemicznym. W skład Indywidualnego Pakietu Przeciwchemicznego (IPP) wchodzi odkażalnik proszkowy oraz odkażalnik organiczny w postaci aerozolu. IPP został opracowany przez pracowników Zakładu Medycyny Morskiej i Tropikalnej WAM z siedzibą w Gdyni i pracowników Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii w Warszawie (grant KBN nr – 0 T00A 054 20 pt. „Metodyka i środki zabezpieczenia załóg pływających przed skażeniem iperytem i luizytem zatopionych w Bałtyku", lata 2001–2002; kierownik grantu prof. dr hab. med. Romuald Olszański).

Rozpatrując problem, jaki niesie ze sobą zaleganie na dnie Bałtyku dużej ilości BST, ekolodzy starają się rozpatrzyć możliwości wydobycia i neutralizacji chociażby części szczególnie groźnych dla człowieka substancji. Specjaliści oceniają, że taka operacja, chociaż technicznie możliwa, byłaby jednak nadzwyczaj trudna i niebezpieczna. Powszechnie wiadomo, że nawet po wydobyciu z wody neutralizacja broni chemicznej kosztuje około 10 razy więcej niż jej produkcja. Jak dotąd symulacji takiego rachunku i kosztów w tym zakresie jeszcze nikt nie wykonał. Zgłosiło się natomiast kilka firm specjalizujących się w pracach na morzu z ofertą przykrycia podmorskich składowisk amunicji chemicznej warstwą betonu lub polimeru. Jak uważają przeciwnicy takiego rozwiązania, byłoby ono niewiarygodnie drogie i nie dając przy tym całkowitej pewności co do pożądanych efektów. Z uwagi zatem na niebezpieczny i bardzo kosztowny proces wydobywania i zobojętniania BST jedynym możliwym postępowaniem pozostaje monitorowanie rejonów ich zatopienia w Bałtyku.

WNIOSKI

1. Rybacy, nurkowie powinni być świadomi zagrożeń związanych z obecnością w nim BST.
2. Bezwzględnie przestrzegać zasad postępowania w przypadku podejrzenia

5. Use the Individual Anti Chemical Set – IPP.
6. Do not use organic solvents (alcohol, petrol, petroleum, fuel oil).
7. Notify the nearest military unit, police department, border guard service or health care service.

After the incident involving the burning of fishermen from Władysławowo with sulphur mustard in January 1997, Maritime Offices prepared an "Instruction for proceeding in the case of recovery of chemical ammunition". Such an instruction may now be found on each fishing boat, and the crews are required to be familiarised with its content and know how to use the Individual Anti-Chemical Sets.

The Individual Anti-Chemical Set (IPP) contains a powder decontaminator and an organic decontaminator in the form of an aerosol. IPP was prepared by employees of the Institute of Marine and Tropical Medicine of Gdynia as well as employees of the Military Institute of Chemistry and Radiometry of Warsaw (KBN grant no. 0 T00A 054 20 entitled "The methodology and security measures against contamination with sulphur mustard and lewisite sunken in the Baltic Sea with regard to navigating crews", in the years 2001-2002; the head of the grant: Prof. Romuald Olszański, Ph.D., M.D.).

In discussing the problem related to large quantities of CWA lingering on the bottom of the Baltic Sea, ecologists try to consider the possibilities of recovering and neutralising at least some of the substances which are particularly hazardous to humans. However, specialists estimate that such an operation, although being technically possible, would be exceptionally difficult and dangerous. It is commonly known that even if it is possible to recover chemical weapons from water, their neutralisation is 10 times more expensive than their production. Thus far, no cost simulation has been executed with regard to such an operation. However, several firms specialised in performing works at sea have come forward with a proposal to cover the chemical ammunition with a layer of concrete or polymer. In the opinion of the opponents of this undertaking, such a solution would be unbelievably costly and could provide no guarantee regarding the achievement of the desired effects. Hence, due to the dangerous and costly process of CWA recovery and neutralisation, the only viable procedure consists in the monitoring of their dumping

(np. bryła gliny lub bursztynu) bezpośredniego kontaktu z BST.
3. Organizatorzy obozów i szkół nurkowych powinni mieć na swoim wyposażeniu indywidualne pakiety przeciwchemiczne i zapoznać swoich uczestników ze sposobem ich użycia.

W roku 2011 uruchomiony został międzynarodowy projekt badawczy w ramach 8 Programu Regionalnego dla Morza Bałtyckiego (2007–2013) pn., „Chemical munitions search and assessment" (CHEMSEA). Pomysłodawcami i inicjatorami projektu jest Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni i Instytut Oceanologii PAN w Sopocie. Projekt zrzesza 11 instytucji naukowych i badawczych z 5 państw nadbałtyckich: Polski, Szwecji, Finlandii, Niemiec i Litwy.

Wykonawcy projektu CHEMSEA podjęli się zweryfikować hipotezę o zatopionej wokół Głębi Gdańskiej i Gotlandzkiej amunicji chemicznej, oszacować stężenie bojowych środków trujących i ich produktów degradacji w osadach dennych otaczających znaleziska, a także ocenić ryzyko związane z przypadkowym lub naturalnym uwolnieniem tych substancji do toni wodnej. Produktem końcowym projektu będą mapy rejonów skażonych, modele pozwalające na oszacowanie rozprzestrzeniania się skażenia w przypadku naruszenia spoczywających na dnie pojemników lub skażonych osadów dennych oraz kompleksowa ocena ryzyka związanego z zalegającą na dnie Bałtyku bronią chemiczną.

sites in the Baltic Sea.

CONCLUSIONS

1. Fishermen and divers should be aware of the risks connected with the presence of CWA in the Baltic Sea.
2. It is essential to comply with the agreed procedure in the case of suspicion of a direct contact with CWA (e.g. a clump of clay or a piece of amber).
3. Organisers of camps and diving schools should be equipped with individual anti-chemical packages and familiarise the participants with their use.

In 2011, an international research project was activated within the 8th Regional Programme for the Baltic Sea (2007-2013) under the name "Chemical munitions search and assessment" (CHEMSEA). The originator and initiators of the project were the Naval Academy of Gdynia and the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences of Sopot. The project associates 11 research institutions from 5 Baltic countries: Poland, Sweden, Finland, Germany and Lithuania.

The executors of the CHEMSEA project have undertaken to verify a hypothesis on the chemical ammunitions sunk around the Depth of Gdańsk and the Gotland Depth, estimate the concentration of chemical warfare agents and products of their degradation in seabed sediment in the vicinity of the finding, as well as assess the risk related to accidental or natural release of those substances into the pelagic zone. The end product of the project will consist in the production of maps of contaminated regions, models allowing the estimation of contamination spread in the case of damage to containers or contaminated seabed sediment and a complex risk assessment related to the chemical weapons lingering on the bottom of the Baltic Sea.

BIBLIOGRAPHY

1. Andrulewicz E., Wielgat M., Anticipated fate of the chemical ammunition and chemical warfare agents (CWA) sunken in the Baltic Sea, Materials from scientific symposium, 22.04.1997 r. "Chemical weapons sunken in the Baltic Sea", AMW, Gdynia, 1998.
2. Barański J., Chemical ammunition sunken in the Baltic Sea, an unpublished work, Gdynia 1997.
3. Fabisiak J., Olejnik A., Sunken chemical ammunition in the Baltic Sea - research and risk assessment - CHEMSEA Scientific Programme, Bulletin PTMiTH no. 2, 2012. Gdynia.
4. Filipek B., Olszański R., Chemical warfare agents in the Baltic Sea - proceeding in the case of a direct contact with CWA. Safety aspects regarding water and underwater practices and flights over the sea, DMW, Gdynia 2001.
5. Filipek B., Olszański R., Harmata W., Chemical warfare agents vs. diving in the Baltic Sea. Safety aspects regarding water and underwater practices and flights over the sea, DMW, Gdynia 2002.
6. Kasperek T., Sunken chemical weapons in the Baltic Sea, Wydawnictwo A. Marszałek, Toruń 1999.
7. Report from the implementation of a research project no. 0 T00A 054 20 entitled "The methodology and security measures against contamination with sulphur mustard and lewisite sunken in the Baltic Sea with regard to navigating crews" Warsaw 2003.

dr n. med. Bogumił Filipek
Zakład Medycyny Morskiej
i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18

prof. dr hab. med. Romulad Olszański
Zakład Medycyny Morskiej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3
skr. poczt. 18
tel./fax. 58/6264109
e-mail: romuald.olszanski@wp.pl

prof. dr hab. n. med. Władysław Harmata
Zakład Radiometrii i Monitoringu Skażeń
Instytut Chemii
Wydział Nowych Technologii i Chemii WAT
ul. Kalińskiego 2
00-908 Warszawa

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

LEVELS OF PROTEIN FRACTIONS IN DIVER'S BLOOD SERUM

POZIOM FRAKCJI BIAŁKOWYCH SUROWICY KRWI U NURKÓW

УРОВЕНЬ БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ СЫВОРОТКИ У ВОДОЛАЗОВ

A. Dolatkowski, B.Szczeblewski, B.Lokucijewski, W.Kudarenko

The Research Department of the Health Service Management of the Polish Navy.
Wydział Naukowo - Badawczy przy Szefostwie Służby Zdrowia Marynarki Wojennej.

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The study consisted in an analysis of the blood plasma of 72 divers aged between 21 and 23 years with paper electrophoresis method. The examined protein fractions reached the following values: albumins 61.7%, α1 globulins 26%, α2 globulins 6%, β globulins 9.5% γ globulins 20.2%. The obtained values were within physiological norm, with the most significant deviations observed in group I – beginner divers. The authors link this observation with a possible impact of an emotional factor and momentary disorders in hormonal regulation.
Key words: diver, diving, blood proteins, protein electrophoresis, paper electrophoresis.

Badano osocze krwi 72 nurków w wieku 21 do 23 lat nurków metodą elektroforezy bibułowej. Wartości frakcji białkowych w badaniu wyniosły: albuminy 61,7%, α1 globuliny 26%, α2 globuliny 6%, β globuliny 9,5% γ globuliny 20,2%. Wartości te mieściły się w normie fizjologicznej, ale największy procent odchyleń obserwowano w grupie I – nurków początkujących. Autorzy wiążą tę obserwację z możliwością działania czynnika emocjonalnego i chwilowymi zaburzeniami regulacji hormonalnej.
Słowa kluczowe: nurek, nurkowanie, białka krwi, elektroforeza białek, elektroforeza bibułowa.

Произведено электрофоретическое исследование крови 72 водолазов (возраст обследованных- 21-23 года). На долю отдельных фракций приходилось в среднем: альбумины - 61,7%, глобулины альфа-1 - 2,6%, альфа-2 - 6,0%, бета - 9,5%, гамма - 20,2%. Эти величины находятся в пределах нормы, однако наибольшее количество отклонений было обнаружено в группе I - начинающих водолазов. Авторы связывают это явление с возможным влиянием эмоционального фактора и кратковременными нарушениями гормональной регуляции.
Ключевые слова: водолаз, дайвинг, белки крови, электрофорез белков, тонкослойный электрофорез.

Le sérum de 72 plongeurs agés de 21 à 23 ans a été examiné par la méthode d'électrophorèse avec du papier buvard. Les valeurs moyennes des examinés étaient: albumines 61,7%, alpha 1-26,%, alpha 2-6,0%, béta 9,5%, gamma-globulines 20,1%. Ces valeurs se trouvent dans les limites normales, mais le pourcentage le plus élevè de déviations a été observé dans 1 groupe de plongeurs débutants. Les auteurs expliquent ça par l'influence possible des facteurs émotionnels et par les troubles temporaires de la hormonale.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 46 Issue 1 pp. 95 – 108

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

DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.46.6

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

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

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

W pracy naszej chcieliśmy dać odpowiedź na pytanie, czy działanie podwyższonego ciśnienia atmosferycznego na ustrój ludzki nie jest szkodliwy i czy nie da się tego wykazać drogą badania frakcji białkowych surowicy krwi. Niedawno jeszcze mało wiedziano o zmianach zachodzących w ustroju znajdującym się pod działaniem wysokich ciśnień, a możliwość niektórych zmian z góry odrzucano. Prace Dolatkowskiego i współpracowników (55) nad układem krążenia i oddychania u nurków potwierdziły istnienie zmian, które stwierdzono już wcześniej. Natomiast wstępne prace nad obrazem krwi obwodowej, wykonane przez tychże autorów, wskazały na istnienie zmian, których w badaniach poprzednich nie podejrzewano (55 str. 247). Zachęceni tymi badaniami wykonaliśmy pracę, która może się stać jednym z przyczynków do wyjaśnienia mechanizmu zmian zachodzących w układzie białek surowicy krwi a także patomechanizmu wysokich ciśnień.

METODYKA

Zbadaliśmy grupę zdrowych mężczyzn liczącą 72 osoby, nurków-kursantów lub nurkujących około jednego dwóch lat, w wieku 21-23 lat, jednakowo żywionych (dzienna wartość kaloryczna pożywienia wynosiła 5707 kcal), pozostających w jednakowych warunkach bytowych. Nie podajemy tu szczegółowo składników pożywienia, gdyż wykazano, że rodzaj diety ma jedynie minimalny wpływ na poziom białka całkowitego surowicy i na stosunki frakcji badane metodą elektroforezy bibułowej (Szajna, 44 Pedrazzini). Krew pobieraliśmy z żyły łokciowej z możliwie krótkim zastojem, w pozycji siedzącej – jak najprędzej po nurkowaniu. Pobieraliśmy do suchej strzykawki 3 ml krwi, co w zupełności wystarczało do naszych badań. W najkrótszym czasie od chwili pobrania staraliśmy się przewieźć krew z morza do pracowni, gdzie w temperaturze ok. +10°C pozostawała do dnia następnego. Temperaturę przechowywania krwi wybraliśmy celowo z tego powodu, że przechowywanie krwi w temperaturach niższych (lodówki) miało powodować wzrost gamma – globulin, a obniżkę globulin alfa i beta (13, Gross), z czym nie wszyscy badacze zgadzają się (23).

INTRODUCTION

The objective of our work consisted in providing an answer to the question of whether an increased atmospheric pressure is harmful for the human organism and whether its impact may be measured by examining levels of protein fractions in the blood serum. Until very recently little was known about changes occurring in organisms subjected to high pressures, and the possibility of certain changes tended to be rejected upfront. The works by Dolatowski and others [55] on the circulatory and respiratory systems in divers confirmed the existence of changes that had been previously observed. However, initial works on the image on peripheral blood by the same authors indicated the existence of changes that had not been anticipated in former studies [55 p.247]. Being encouraged by these studies, we have become involved in an endeavour that may constitute an important contribution in the explanation of a mechanism behind the changes occurring in the pattern of proteins in the blood serum, as well as the pathomechanism related to the impact of high pressures.

METHODOLOGY

We have examined a group of 72 healthy men, trainee-divers or divers with the diving experience of one to two years, aged between 21-23 years, equally nourished (the daily calorific value of the food of 5707 kcal), and provided with the same living conditions. We shall not submit a detailed list of the administered food stuffs, as it has been shown that the diet has only minimal impact on the total level of proteins in the blood serum and interrelations between the fractions examined with the paper electrophoresis method [Szajna, 44 Pedrazzini]. The blood samples were taken from the divers' cubital vein immediately after diving so as to ensure that at the time the blood was drawn they had been static in a sitting position for the shortest possible time.–. 3 ml of blood was drawn into a dry syringe, which was a sufficient amount for the conducted examination. Next, it was attempted to transport the blood, in the shortest possible time, to a laboratory, where it remained in a temperature of +10°C until the following day. The said blood storage temperature was chosen on purpose, due to the fact that preserving

Surowice zhemolizowane odrzuciliśmy. Surowicę do badania ściągano pipetą znad skrzepu i wirowano w ciągu 30 minut. Elektroforezę wykonywaliśmy w aparacie złożonym z winidurowej komory wilgotnej i prostownika prądu sieciowego (szczegóły budowy – piśmiennictwo poz. 19). Nakładaliśmy jednocześnie 6 pasków o wymiarach 32x3 cm, używając bibuły Whatmana nr 1. Przed nałożeniem surowicy zwilżaliśmy pasek bibuły buforem, a nadmiar płynu osuszaliśmy czystą bibułą. Używaliśmy buforu weronalowego o pH=8,6 i sile jonowej mi=0,1 – do zwilżania pasków oraz buforu boranowego o sile jonowej równej 0, 05 (Kowalczyk), do napełniania komór. Surowicę nakładaliśmy na paski przy pomocy mikropipet w ilości 0,01 ml, linijnie, z pozostawieniem wolnych brzegów szerokości około 0,05 cm, żeby szybszy ruch na brzegach paska nie zakłócał przebiegu elektroferezy.

Ustaliliśmy punkt nałożenia surowicy, „punkt startowy" w odległości 3 cm od środka paska w kierunku katody. Prąd włączyliśmy w 30 minut po nałożeniu pasków do komory i zamknięciu jej, a to w celu równomiernego zwilżenia bibuły i nasycenia przestrzeni komory parą wodną. Stosowaliśmy natężenie 0,3 mA na cm szerokości paska, co przy 6 paskach i uwzględnieniu oporu rurki łączącej „U" wyniosło łącznie około mA; napięcie wynosiło 300 V (odczytane na woltomierzu prostownika), napięcie rzeczywiste mierzone na pasku wynosiło 275 V, co wyrażało się liczbą 10V na cm długości bieżącej paska. Czas trwania elektroferezy wynosił 6 godzin. Wymienione warunki pozwalały na uzyskiwanie pasków o dobrym rozdziale frakcji. Paski suszono w temperaturze 140°C około 10 minut, barwiono azokarminem B około 1 godziny odbarwiano w dwóch roztworach 10% kwasu octowego. Paski po wysuszeniu w temperaturze pokojowej rozcinano na odcinki według widocznych frakcji, eluowano w 5 ml (albuminy w 10 ml) 0,1 N NaOH przez 30 minut (wytrząsano na trzęsawce elektr.), a po następnych 30 minutach dokonywano odczytu na fotokolorymetrze Pulfricha przy filtrze S 53. Sumę ekstynkcji przyjmowaliśmy za 100 i następnie z poszczególnych odczytów obliczaliśmy stosunek procentowy frakcji białkowych. Poziom białka całkowitego w surowicy oznaczaliśmy metodą ciężaru właściwego według Phillipsa i van Slyke'a. Próba

blood in lower temperatures (refrigerated) is presumed to induce an increase in gamma-globulins and a reduction in alpha- and beta-globulins [13, Gross], although not all researchers tend to agree with this allegation [23]. Haemolysed blood serum was rejected. The blood serum used in the study was collected with a pipette from above the clot and centrifuged for 30 minutes. The electrophoresis was performed in an apparatus comprising a vinidur chamber containing water and a line current rectifier [construction details - see bibliography it. 19]. 6 strips with the dimensions of 32x3 cm were prepared simultaneously with the use of Whatman paper no. 1. Before providing the blood serum, the paper strips were moistened with buffer, whereas excess liquid was dried with clean paper. The buffer used in moistening of the strips was veronal buffer with pH=8.6 and ionic strength of mi=0.1, whereas borate buffer with ionic strength equal to 0. 05 [Kowalczyk] was used to fill the chambers. The blood serum was placed on the strips with the use of micropipettes in the quantity of 0.01 ml, linearly, leaving free edges with the width of ca. 0.05 cm, so that the quicker movement on strip edges would not disrupt the electrophoresis.

The spot for blood serum placement, the "starting spot", was defined 3cm from the middle part of the strip towards the cathode. The current was switched on 30 minutes after placing the strips in the chamber and closing it, with the purpose of enabling an even moistening of the paper and saturating the chamber with water vapour. The voltage of 0.3 mA was applied per each cm of the strip's width, which with 6 such strips and the consideration of the resistance of the "U" pipe connector reached in the approx. mA; the voltage amounted to 300 V (according to the voltmeter placed on the rectifier), whereas the actual voltage measured on each strip reached 25 V, i.e. 10V per each cm of the strip. The time of the electrophoresis was 6 hours. The specified conditions facilitated the obtainment of strips with good fraction distribution. The strips were dried in a temperature of 140°C for approx. 10 minutes, stained with Azokarmin B for ca. 1 hour and discoloured in two 10% solutions of acetic acid. After drying the strips at room temperature they were cut into segments with regard to the visible fractions, eluated in5 ml

ta nie jest zbyt dokładna, ale dla celu który postawiliśmy sobie, a więc uchwycenie różnic rzędu kilku dziesiętnych grama na 100 ml surowicy, jest w zupełności wystarczająca, przy błędzie metody wynoszącym 10-15% (57). Procentowy udział poszczególnych frakcji można przeliczyć na bezwzględną zawartość w gram-procentach, ale wówczas trzeba oznaczyć poziom białka całkowitego w surowicy jedną z metod ilościowych (Klejdahla, biuretynową).

WYNIKI

Elektrofereza bibułowa jest metodą prostą, dostępną i dość ścisłą. Trzeba jednak zdać sobie sprawę z trudności, które piętrzą się, gdy żądamy od elektroferezy wyników, które dałyby wgląd w mało dotąd poznane stosunki ilościowe poszczególnych frakcji białkowych surowicy. Słusznie powiada *Azerad* (cytat za 46), „że elektrofereza bibułowa jest tysiąc razy tańsza od elektroferezy swobodnej, to nie znaczy wcale, że jest tysiąc razy lepsza". Elektrofereza bibułowa daje wyniki powtarzalne, ale nie są one porównywalne. Mogłyby być takie, gdyby wszystkie pracownie używały ściśle tych samych odczynników i warunków badania. Jak trudne jest to zagadnienie niech świadczy fakt, że konferencja zwołana w r. 1957 w Belgii (przy okazji międzynarodowej sesji naukowej) w sprawie standaryzacji aparatury do elektroferezy bibułowej nie dała żadnego wyniku (*Wender*, 49).

(albumins in 10 ml) of 0.1 N NaOH for a period of 30 minutes (shaken with the electric shaker), and after another 30 minutes the result was read with a Pulfrich photometer with the use of an S 53 filter. The assumed extinction sum was 100 which served as a reference in calculating the percentage of protein fractions in particular measurements.

The total protein level in the blood serum was determined with Phillips and van Slyke's specific gravity method. The test is not characterised by high accuracy, yet it sufficed for the assumed objective consisting in capturing the differences of decimal fractions of a gram per 100 ml of the blood serum, with an error within 10-15% [57]. The percentage share of particular fractions may be calculated as an absolute content in grams-percents; however, this would require determination of total protein in the blood serum with one of the quantitative methods (Klejdahl's method, biuret test).

RESULTS

Paper electrophoresis is a simple, available and a rather precise method. Still, it needs to be realised that certain difficulties may accumulate if we require electrophoresis to provide us with results that would give an insight into the so far unrecognised ratios of particular protein fractions in the blood serum. As it was rightly observed by *Azerad* [a quote from 46[S1]] "paper electrophoresis is a thousand times cheaper than free electrophoresis, however it does not mean it is a thousand times better". Paper electrophoresis provides repeatable, however not comparable results. In order to make them so, all laboratories would have to use precisely the same reagents and ensure the same test conditions. The lack of any proper results having materialised from a conference held in 1957 in Belgium (within an international scientific session) regarding paper electrophoresis equipment standardisation [Wender, 49] demonstrating how difficult this issue is.

Tab. 1

Wartości frakcji białkowych (badania własne).

Protein fraction values (own studies).

A. Norm.
Number of cases 10
Total protein value 7.5g%
Albumin/globulin ratio 1.5

	Protein fractions				
	Albumins	Globulins			
		alfa 1	alfa 2	beta	gamma
Arithmetic mean	62,0	2,3	6,5	9,3	19,8
Max	65,7	2,8	7,8	11,6	24,6
Min.	58,6	1,8	4,8	7,3	13,6
Sigma	2,7	0,36	0,99	0,37	3,1
S	0,84	0,11	0,30	0,12	0,96

B. Divers
Number of cases 71
Total protein value 7.6g%
Albumin/globulin ratio 1.6

	Protein fractions				
	Albumins	Globulins			
		alfa 1	alfa 2	beta	gamma
Arithmetic mean	61,7	2,6	6,0	9,5	20,2
Maksim.	71,2	5,1	10,6	13,6	27,3
Minim.	49,1	0,9	2,4	5,2	13,5
Sigma	6,0	1,2	1,9	2,0	3,5
S	0,71	0,14	0,22	0,24	0,41

Z trudności w ocenie ilościowej proteinogramu wymienić można zjawiska utraty albumin podczas wędrówki do anody (*Merklen*), przy czym stosowane poprawki (*Hardwicke*) znajdują się poniżej wartości błędu oznaczenia i są dość kłopotliwe w praktyce. Podkreślanie przez wielu autorów różne powinowactwa barwnika do albumin i globulin nie wydaje się być czynnikiem wpływającym istotnie na wynik i tak wg *Magasa* (60) różnica ta dla błękitu bromofenolowego wynosi około 5%. Wyniki różnych pracowni, które używają własnych modyfikacji nie mogą być porównywane. Każda pracownia powinna opracować swoje własne normy i tylko w oparciu o nie oceniać uzyskane proteinogramy. W celu wypracowania takich wartości przeprowadziliśmy badanie elektroforetyczne surowicy 10 klinicznie zdrowych mężczyzn nie nurkujących, w tym

The difficulties concerned with quantitative evaluation within the electrophoresis of proteins included a phenomenon involving an albumin loss on the way towards the anode [Merklen] with the applied corrections [Hardwicke] placing it below the error value and being quite inconvenient to use in practice. Numerous authors on this topic have emphasised the observation that the - various affinities of the dye with albumins and globulins do not seem to be factors which have a significant effect on the result, and so according to Magas [60] such a difference for. bromophenol blue reaches ca. 5%. The results obtainedby different laboratories which use their own modifications may not be compared. Each laboratory should work out its own norms and evaluate the received gel electrophoresis only on their basis.In order to work out such values we have

samym wieku co grupa będąca przedmiotem badania, w podobnych warunkach bytowych i diecie. Otrzymane wyniki są następujące (patrz także tabela 1, A): albuminy 62,0%, alfa 1 2,3%, alfa 2 6,5%, beta 9,3% i gamma globuliny 19,8%. Wartości naszych norm mieszczą się w szerokim wachlarzu danych przytoczonych tu z literatury uzyskanych przez różnych autorów (patrz tabela 2). Nie znamy dokładnie materiału, na podstawie którego normy te opracowano, nawet więc grube porównanie będzie tu ryzykowne. Mamy prawo przypuszczać, że większość tych norm dotyczy nieraz grup ludzi różnego wieku, płci i środowiska, badanych w różnym czasie i warunkach, podczas gdy nasze badania mogą dać pewien wgląd w wartości frakcji białkowych i surowicy jednolitej grupy ludzi:

conducted an electrophoresis test on the blood serum of 10 clinically healthy men, non-divers, of the same age as the group subjected to the quoted examination, with similar living conditions and diet. The obtained results were as follows (see also table 1, A): albumins 62.0%, alpha 1 2.3%, alpha 2 6.5%, beta 9.3% and gamma globulins 19.8%. The norm values were within the broad range of data available in the related literature (see table 2). We are not entirely familiarised with the material on whose basis the said norms were worked out however, so consequently even a rough comparison would be risky. As we were not responsible for producing the data which determined what a "norm" is, we felt it right to presume that the majority of those norms could have been applied to people of a different age, sex and environment, examined in a different time and conditions, whereas our research could provide a certain insight into the values of protein fraction and the blood serum of a uniform group of subjects:

Tab. 2

Normy frakcji białkowych przytoczone z literatury według Ruszkowskiego (39), Grossa i Wrońskiej (12) oraz wyniki własne.

Protein fractions norms as quoted from literature according to Ruszkowski [39], Gross and Wrońska [12], and own results.

Authors	Protein fractions				
	Albumins	alfa 1	alfa 2	beta	gamma
1. Antonini	55,7	4,0	7,9	12,6	19,5
2. Moncke	61,8	4,2	7,6	10,3	16,1
3. Korver	57,8	4,5	8,2	9,6	19,9
4. Pluckthun	59,0	4,2	8,0	10,6	18,2
5. Satoskar	58,4	4,3	6,5	10,4	22,0
6. Levin	62,4	3,4	7,2	14,3	12,7
7. Bodart	61,9	4,2	8,0	11,3	14,6
8. Grassmann	61,3	4,1	8,1	11,0	15,5
9. Geinitz	60,4	3,9	7,5	11,3	16,8
10. Fine	60,2	3,3	7,6	12,4	16,5
11. Opplt, Kutacek	58,0	4,0	8,0	10,0	20,0
12. Dole	63,2	4,9	7,5	12,7	11,6
13. Reiner	56,8	15,9		12,8	14,4
14. Bogdanikowa	67,0	5,7		8,9	18,4
15. Bogdanowicz	61,9	4,2	8,0	11,3	14,6
16. Ostrowski, Mikucki	58,8	4,8		11,0	25,3
17. Ruszkowski	59,1	4,1	7,4	10,0	19,4
18. Gross, Wrońska	64,0	3,9	7,0	9,4	15,7
19. Normy własne	62,0	2,3	6,5	9,3	19,8

Średnie wyniki badanej przez nas grupy 72 nurków, przedstawiają się następująco (patrz także tabelę 1 B): albuminy 61,7%, alfa

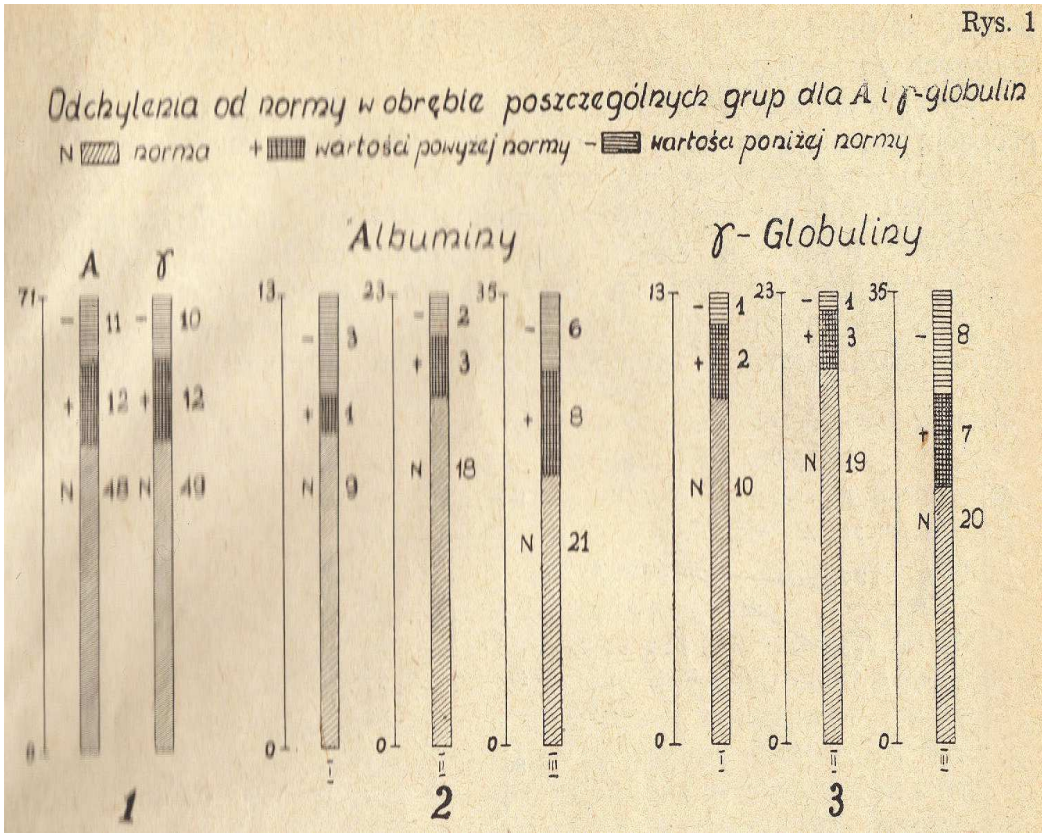
The average results of the examined group of 72 divers are as follows (see also table 1 B): albumins 61.7%, alpha 1 2.6%, alpha 2 6.0%,

1 2,6%, alfa 2 6,0%, beta 9,5% i gamma globuliny 20,2%. Podajemy w tabeli 1 wartości średniej arytmetycznej, maksymalne i minimalne, wartość sigmy i standardowy błąd. Przy obliczeniach statystycznych lepiej byłoby omawiać grupę liczącą 100 przypadków, ale z przyczyn technicznych nie udało nam się zgromadzić więcej niż 72 przypadki.

Z porównania wartości obu grup (norma-nurkowie) wynika, że potrojony błąd różnicy jest mniejszy od różnicy średnich arytmetycznych i że w związku z tym różnica wartości uzyskanych wyników nie jest statystycznie istotna. Badany materiał podzieliliśmy na 3 grupy, zależnie od głębokości nurkowania, ale uzyskanych wyników nie analizowaliśmy statystycznie, gdyż różnice poszczególnych grup były jeszcze mniejsze niż poprzednie.

beta 9.5% and gamma globulins 20.2%. Table 1 specifies the values of the arithmetic mean, maximum and minimum, the values of sigma and standard error. In statistical calculations it would be more convenient to discuss a group of 100 cases; however, due to technical reasons, we were able to gather only a group of 72 subjects.

The comparison of values from both groups (norm-divers) indicates that the tripled remainder error value was smaller than the remainder of arithmetic means, and consequently the remainder of values of the obtained results was not statistically significant. The examined material was divided into 3 groups, depending on the depth of diving; however, the obtained results were not subject to statistical analysis, since the differences between particular groups were even smaller than before.



Rys. 1. Odchylenia od normy w obrębie poszczególnych grup dla A i beta - globulin. N norma, + wartości powyżej normy, - wartości poniżej normy.

Fig. 1. Deviations from the norm within particular groups for alpha and beta globulins. N norm, + values above the norm, - values below the norm.

Grupa I (13 przypadków): albuminy 59,9%, alfa 1 2,6%, alfa 2 6,6%, beta 10,5%, gamma-globuliny 20,4%.

Grupa II (23 przypadki): albuminy 62,1%, alfa 1 2,9%, alfa 2 5,7%, beta 9,1%, gamma-globuliny 20,2%.

Grupa III (35 przypadki): albuminy 62,6%, alfa 1 2,4%, alfa 2 5,8%, beta 9,3%, gamma-globuliny 19,9%.

Podział na powyższe grupy uzasadniono względami fizjologicznymi, według których dzieli się nurkowanie na średnio-głębokie(do 40 m) – grupa I, głębokie (do 60 m) – grupa II, głębinowe (powyżej 60 m)– grupa III. Wartości frakcji poszczególnych grup nie wykazują istotnych odchyleń i znajdują się w granicach normy.

Wydaje się jednak, że warto podkreślić obserwowany fakt pewnych tendencji wzrostu lub obniżki w zakresie frakcji w różnych grupach. I tak wartości albumin grupy I są nieco niższe a globulin wyższe, niż w pozostałych grupach. Grupa II jest pod tym względem mało charakterystyczna, a w grupie III widać powrót albumin i gamma globulin do wartości bliskich normy. Zmiany te są niewielkie i mogą mieć wartość jedynie orientacyjną. Dla zobrazowania tych zmian wykonano rys. 1, na którym wartości w granicach normy (znak N), wartości wyższe (znak +) i niższe od normy (znak -) przedstawiono przy pomocy słupków. Cyfry po prawej stronie słupków oznaczają liczbę osób, które miały powyższe wartości w danej grupie. Słupek z normą (N) zawiera większość powtarzających się przypadków danej grupy, która mieści się ca w granicach jednej sigma, np., dla albumin 55-65%, podobnie dla gamma globulin.

Cyfrą 1 oznaczono średnie wyniki albumin i gamma globulin całości badanych. Wynika z niej, że liczba wyników w granicach normy dla obu frakcji jest prawie ta sama i odchylenia mają ten sam charakter.

Cyfrą 2 oznaczono charakter odchyleń dla albumin w poszczególnych grupach (I,II,III). W grupie I widać, że ilość przypadków z wartością poniżej normy jest wyższa niż w grupie III, gdzie więcej jest odchyleń wyższych od normy.

Cyfrą 3 oznaczono charakter odchyleń dla globulin w poszczególnych grupach, ale mają tu one inny charakter: odchyleń minusowych w grupie I jest znacznie mniej niż w grupie III. Cienka linia po lewej stronie słupków oznacza skalę, którą przyjęto za jedność (różną dla

Group I (13 cases): albumins 59.9%, alpha 1 2.6%, alpha 2 6.6%, beta 10.5%, gamma globulins 20.4%.

Group II (23 cases): albumins 62.1%, alpha 1 2.9%, alpha 2 5.7%, beta 9.1%, gamma globulins 20.2%.

Group III (35 cases): albumins 62.6%, alpha 1 2.4%, alpha 2 5.8%, beta 9.3%, gamma globulins 19.9%.

The division into the above groups was justified with physiological factors, according to which diving is categorised as medium-deep (up to 40 m) - group I, deep (up to 60 m) - group II, deep-sea diving (below 60 m) - group III.

The fraction values of particular groups did not reveal any significant deviations and were within the norm. Nonetheless, it seems to be worthwhile emphasising the observed growth and decrease tendencies within particular fractions in different groups. And so, in group I the albumin values were slightly lower and the globulin values higher than in the other groups. Group II was not particularly characteristic in this regard, whereas in group III the values of albumins and gamma globulins returned to the value close to the norm. However, the said changes were insignificant and could serve only as an approximate value. Fig. 1 was prepared in order to depict the changes, showing the values being within the norm (symbol *N*), higher values (symbol +) and lower than the norm (symbol -) represented with bars. Numbers placed to right of the bars indicate the number of persons with particular values in a given group. The bar representing the norm (N) contains the majority of repeating cases within a given group being within the limit of one sigma, for instance, for albumins 55-65%, and similar for gamma globulins.

Number 1 indicates the mean results with regard to the albumin and gamma globulin levels in the entire group of subjects. It shows that the number of results being within the norm with regard to both fractions is nearly the same and the observed deviations are of the same nature.

Number 2 was used to indicate the character of albumin deviations in particular groups (I, II, III). In group I we see that the number of cases with a value being below the norm is higher than in group III which is characterised by a greater number of deviations towards values exceeding the norm.

Number 3 marked the nature of globulin deviations in particular groups, however

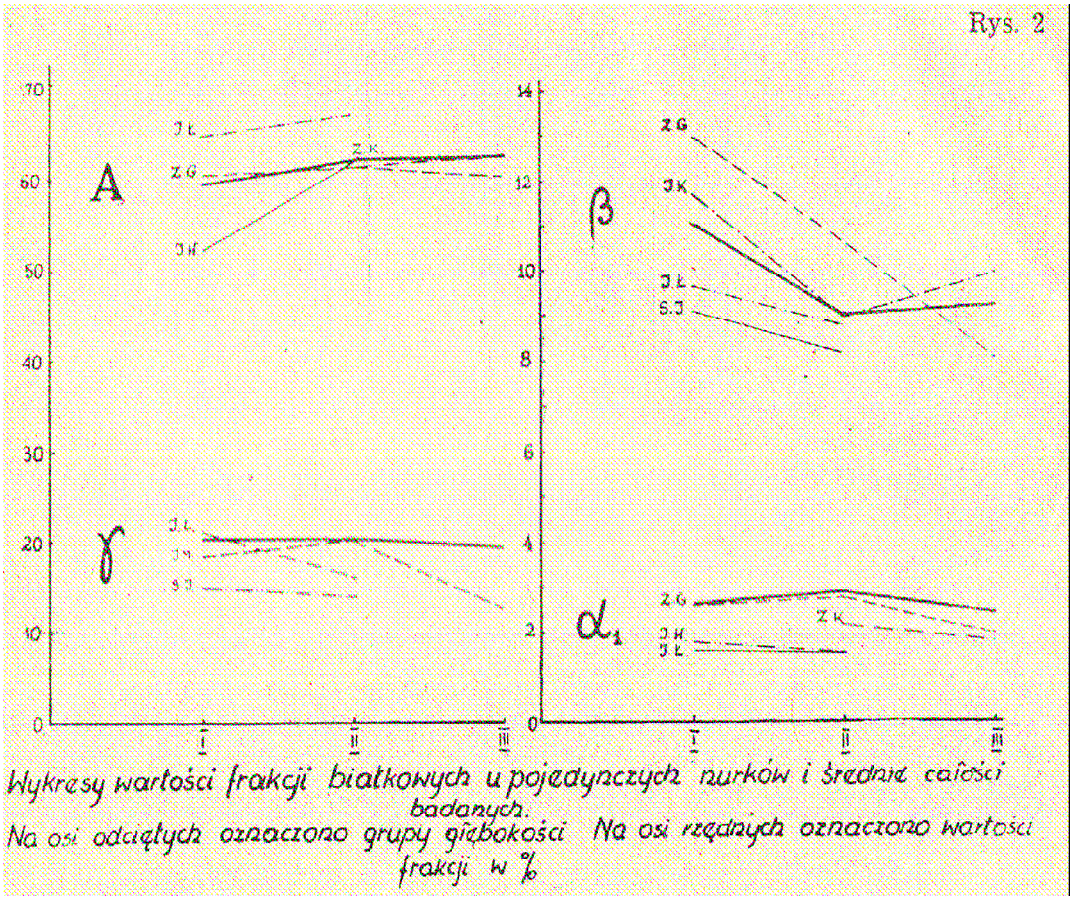
każdej grupy zależnie od liczby przypadków), w stosunku do której obliczano odchylenia od normy.

Podkreślamy, że i tu różnice zależne od grup są niewielkie i mają jedynie charakteryzować skłonność do odchyleń „in plus" lub „in minus".

the general tendency was different: the number of negative deviations in group I was significantly lower than in group III.

The thin line placed to the left of the bars provides a scale adopted as a unity (different for each group depending on the number of cases) in relation to which deviations from the norm were calculated.

We wish to emphasise that here also group-specific differences were only slight and that the aim was to provide mere characterisation of an inclination towards "in plus" or "in minus" deviations.



Rys. 2. Wykresy wartości frakcji białkowych u pojedynczych nurków i średnie całości badanych. Na osi odciętych oznaczono grupę głębokości. Na osi rzędnych oznaczono wartości frakcji w %.

Fig. 2. Charts representing protein fractions in individual divers and mean values of the entire group of subjects. The axis of abscissae indicates depth classification, whereas the axis of ordinates presents fraction values expressed in %.

U kilku nurków wykonaliśmy badania dwu-, trzy- lub czterokrotne (przy dwóch badaniach na tej samej głębokości podajemy średnią) zależnie od głębokości. Wyniki podaje rys. 2. Na osi odciętych zaznaczono grupy głębokości, na osi rzędnych wartości frakcji w %.

In the case of several divers the examination was repeated two, three or four times (the mean value is provided for examination regarding the same depth) depending on the depth. The results are presented in fig. 2. The axis of abscissae

Liniami przerywanymi oznaczono wartości frakcji poszczególnych nurków, gruba linia ciągła oznacza dla danej frakcji średnią wartości wszystkich badanych w danej grupie.

Zbieżność tych dwóch krzywych (średniej i wartości u pojedynczych nurków) nie dla wszystkich frakcji da się wykazać w tym samym stopniu, ale potwierdza tendencję do odchyleń, o których mówiliśmy przy omawianiu rys. 1, nie przedstawiono tu frakcji alfa 2, gdzie ta rozbieżność była znaczna.

DYSKUSJA

Zasługuje na podkreślenie szereg czynników ubocznych wpływających na poziom białka surowicy krwi. Postawa pionowa (głównie jednak pod kątem 54° do poziomu) wpływa na zagęszczenie białek osocza w skutek wzmożenia ultrafiltracji (51,53). Podobnie wpływa moment pobierania krwi z uciskiem żyły, jednak oba te czynniki nie pociągają za sobą widocznych zmian jakościowych białek surowicy (30,53).

Uzyskane przez nas wyniki pozwalają stwierdzić, że badana surowica wykazuje wartości prawidłowe pod względem frakcji białkowych i białka całkowitego. Otrzymane średnie wartości mieszczą się w granicach norm choć część wykazuje niewielkie odchylenia. Badania dotyczyły ludzi klinicznie zdrowych, badanych w ramach okresowych przeglądów lekarskich i przed każdym zejściem pod wodę, kiedy mierzono nurkom ciśnienie i tętno oraz pytano o samopoczucie. Nurkowali jedynie ci spośród grupy, którzy odpowiadali ustalonym wymogom. Jest rzeczą oczywistą, że wynik badania elektroforetycznego zależał od całej sumy bodźców działających na nurka, jak emocje, wzmożone ciśnienie atmosferyczne, temperatura wody, czy stan zdrowia. Nie wszystkie z wymienionych czynników da się wyodrębnić, stanem zdrowia zajmiemy się jednak dokładniej. Paru spośród badanych chorowało okresowo na nieżyty jamy nosowo-gardłowej oraz u dwóch nurków stwierdzono zmiany próchnicze zębów. Wyniki badań w tych przypadkach nie przyniosły wartości charakterystycznych, ale z wyraźną jednak tendencją do zwyżki gamma globulin i obniżki albumin, co jest typowym odczynem białek surowicy na proces zakażenia w ustroju. Jeden z nurków J. M. lat 22, z rozległą próchnicą zębów miał poziom gamma globulin wynoszący 28,5%, co jest wartością zdecydowanie za wysoką

indicates depth classification, whereas the axis of ordinates presents fraction values expressed in %. Dashed lines indicate fraction values for particular divers, whereas the bold line indicates mean fraction value of all the subjects within a given group. The convergence of these two curves (mean value and individual diver values) may not be indicated to the same extent for all fractions, nevertheless it confirms the tendency to deviate, which was discussed in relation to fig. 1; alpha 2 fractions, whose discrepancy was significant, had not been depicted here.

DISCUSSION

What should be particularly emphasised is a number of extraneous factors affecting protein levels in the blood serum. Vertical position (mainly at 54° to horizontal position) causes a larger concentration of plasma proteins due to an increased ultrafiltration [51, 53]. A similar effect is noted in the process of drawing blood with an applied pressure on the vein; however, both these factors do not result in visible quantitative changes of the blood serum proteins [30, 53].

The obtained results allow one to confirm that the examined blood serum showed the correct values with regard to protein fractions and total protein. The calculated mean values were within norms, although a part of them indicated slight deviations. The study concerned clinically healthy men, tested within a periodic medical check -up and before each descent. It involved taking measurements of the divers' pressure and pulse as well as interviewing them with regard to their comfort. Only divers meeting particular requirements were cleared for diving. It is obvious that the result of an electrophoretic test depended on a number of stimuli influencing the divers, such as emotions, an increased atmospheric pressure, water temperature or their health condition. It was not possible to isolate all of the above factors; however, we will devote more attention to the divers' health condition. Some of the examined subjects experienced periodic nasopharyngitis, and two divers had a reported dental caries. Research results in these cases did not include characteristic values, however they did involve a clear tendency to indicate increased gamma globulins and decreased albumins, which is a typical reaction of the(above the allowable systolic pressure of 140 mm Hg) more often constituted an accompany-

w porównaniu z normą. Kontrolne badanie po dwóch tygodniach wykazało poziom gamma globulin w granicach wartości poprzedniej. Jest to jedyny przypadek z naszego materiału, gdzie możemy mówić o trwalszych zmianach w widmie białkowym na tle znanej nam etnologii. Podczas badań nurków z grupy I zauważono, że najczęściej w tej właśnie grupie obserwujemy podwyższone ciśnienie tętnicze krwi (powyżej dopuszczalnej normy ciśnienia skurczowego wynoszącej 140 mm Hg) i przyspieszenie tętna, bardzo często dyskwalifikujące nurka w tym dniu do zejścia pod wodę.

Jak wynika z przytoczonych obserwacji powyższe zmiany u nurków w grupach II i III były znacznie rzadsze. Grupa I to nurkowie początkujący, najmniej z pracą pod wodą obyci, najmłodsi stażem nurkowym. Mamy prawo przypuszczać, że obserwowane niewielkie odchylenia w widmie białkowym są zaburzeniami czynnościowymi nieprzystosowanego ustroju i reakcja odruchowa na bodźce emocjonalne związane z charakterem pracy. Układ frakcji białek surowicy jest bardzo labilny i zmiany tego rodzaju mogą się później łatwo wyrównywać, chyba że wiążemy je z bardziej stałą przyczyną, jak to wyżej wspominaliśmy w przypadku nurka J. M. Wiemy już dziś, że na bodźce emocjonalne ustrój może reagować zmianami we frakcjach białkowych surowicy. Patomechanizm tych zmian jest sprawą otwartą: możliwy jest bezpośredni wpływ wzmożonego ciśnienia atmosferycznego w ustroju do warunków pracy nie przystosowanym lub zaburzenia regulacji korowej i wyzwalanie większej ilości hormonów np. adrenaliny *Żydowo.* wykazał w swojej pracy wpływ adrenaliny na wzrost poziomu białek surowicy krwi, nie badał jednak poziomu frakcji białkowych (53). W grupach nurków wykwalifikowanych (grupa II i III) rzadko stwierdzano podczas badania przed nurkowaniem zmiany ciśnienia tętniczego krwi i tętna. W tych też grupach niewielkie odchylenia w poziomie frakcji cofają się w porównaniu z grupą I i dochodzą do najbliższych normie wartości grupy III. Brak zmian na większych głębokościach możemy tłumaczyć stosunkowo krótkim pobytem pod wodą i niewielkimi bodźcami emocjonalnymi związanymi z pracą kwalifikowanych nurków.

ing factor together with an accelerated pulse, which frequently disqualifies divers to go under water. As it results from the quoted observations, the above changes in divers from groups II and III were much rarer. Group I encompassed beginner divers, with the least experience in working under water and the shortest training. We have reason to assume that the observed slight deviations in the protein spectrum constituted function disorders of unaccustomed organisms and involuntary reactions to emotional stimuli related to the nature of the performed work.

The pattern behind the blood serum proteins is extremely labile and changes of that type may level out easily, unless they are connected with a more permanent cause, such as the one mentioned above in the case of the diver J.M. Today we know that an organism may react to emotional stimuli with changes in the protein fraction in the blood serum.

The pathomechanism of those changes is an open matter: what is possible is a direct impact of an increased atmospheric pressure on an organism not adjusted to the provided working conditions or a release of an increased quantity of hormones, e.g. adrenaline. Żydowo demonstrated in his work the effect of adrenaline on the growth of the blood serum protein level; however, he did not study the level of protein fractions [53]. In the groups of qualified divers (group II and III) changes in the arterial blood pressure and pulse were rare. Also in these groups, slight deviations in the fraction level tended to reverse, and in comparison with group I reach the values that were closest to the norm in group III. A lack of changes in greater depths may be explained with a relatively short stay under water and the presence of only minor emotional stimuli connected with the work being performed by qualified divers.

BIBLIOGRAPHY

1. Bielawski W. - Marking protein fractions in the blood serum with biuret method following salting out with ammonium sulphate and paper electrophoresis. Acta Biochim. Pol. 1955, II, 4, 409.
2. Bogdanikowa B. – On gamma globulin deficiency in blood. Przeg. Lek. 1956, 9, 294.
3. Bogdanikowa B. – System reactivity in chronic rheumatoid arthritis based on blood proteins image. Pol. Tyg. Lek. 1955, 30, 979.
4. Bogdanikowa B.- Clinical application of blood protein research. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 1, 207.
5. Bogdanikowa B. i Bogdanik T. – On the interrelation between white blood cells and blood proteins. Pol. Arch. Med. Wewn. 1954, 4, 485.
6. Bogdanikowa B. – On selected factors having an effect on an onset and course of acquired hypogammaglobulinemia. Pol. Tyg. Lek. 1959, 6, 255.
7. Bratkowska-Seniów B. – Studies on blood serum proteins in the systemic diseases of hematopoietic organs. Pol. Arch. Med. Wewn. 1958, 10, 1811.
8. Bücher M. – Moderne chemische Methoden in der Klinik. Leipzig 1958.
9. Byczkowska S. – Natural ultrafiltration of human blood as a result of a change of a position. Pol. Tyg. Lek. 1952, 29, 923.
10. Górski M. – Clinical significance of research on blood serum proteins. Pol. Arch. Med. Wewn. 1953, 6a, 984.
11. Grembowicz Z. and Leja Z. – Electrophoretic image of blood serum in the course of largactil treatment of patients with schizophrenia. Pol. Tyg. Lek. 1959, 7, 300.
12. Gross S. and Wrońska T. – Reading strips in paper electrophoresis. Acta Biochim. Pol. 1957, IV, 1, 3.
13. Gross S. – Paper electrophoresis of blood serum proteins. Med. Pracy 1956, 4, 261.
14. Hintz R. and Kurczewska K. – The clinical value of liver function tests in comparison with blood protein spectrum. Pol. Arch. Med. Wewn. 1954, 2, 149.
15. Horst A. – Blood protein pathology. Pol. Arch. Med. Wewn. 6a, 959.
16. Huszcza A. – Atmospheric pressure and its effect on an organism. PZWL Warsaw 1951.
17. Kalinowski J. – The dependency between blood viscosity on protein concentration. Pol. Arch. Med. Wewn. 12, 205, 1955, 12, 205.
18. Kemula W. and Bartosiewicz W. – Method of electrophoretic protein fractioning and automatic photometric marking of proteins on paper. Roczniki chemii. Zesz. 1954, 1, 28, 100.
19. Kowalczyk J. – A simple apparatus for paper electrophoresis. Acta Biochim. Pol. 1956, 2, 251.
20. Kowalski E. i Zakrzewski K. – Gamma globulins. (A report from an international conference in Paris of 2-4 Dec. 1954). Pol. Tyg. Lek. 1955, 23, 178.
21. Łazarow N. I. – Quantitive determination of fibrinogen with the use of electrophoresis. Łaboratornoje djeło, 1957, 4, 11.
22. Macijewski A. – Research on the proteins in the blood serum of children operated under general anaesthesia. Ped. Pol. 1959, 1, 37.
23. Magas S. – Research on the methodology of paper electrophoresis of blood serum proteins. Postępy Biochemii. Zesz. 1956 1, II, 157.
24. Marciniak A. and Espenhan M. – The significance of paper electrophoresis in the rheumatic diseases clinic. Pol. Arcg. Med. Wewn. 1954, 3a, 383.
25. Morawski W. – The behaviour of an absorption spectrum of the blood serum in healthy humans as well as in patients with selected diseases. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 1a, 254.
26. Mozołowski W. – The concept of a norm and numerical depiction of results in clinical biochemistry. Postępy Biochemii. 1954, II, 8.
27. Mozołowski W. – Qualitative evaluation of blood serum proteins with the use of certain physical properties. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 1a, 201.
28. Mozołowski W. – Chemistry of the blood plasma proteins. Pol. Arch. Med. Wewn. 1953, 6a, 947.
29. Mozołowski W – Characteristics of proteins in human blood serum with the use of nitrogen and with regard to certain physical properties. Acta Biochim. Pol. 1954, 1-2, I, 59.
30. Niemiro R. – Interrelation between the content of calcium in the blood serum and protein concentration. Acta Biochim. Polon. 1955, 2, II, 213.
31. Orłowski T. and Kleczkowski B. – The level of proteins in the blood serum in healthy men. Pol. Arch. Med. Wewn. 1954, 1, 63.
32. Ostrowski W. and Mikucki – A self-recording photoabsorptionmeter for paper electrophoresis of the blood serum proteins. Pol. Tyg. Lek. 1952, 21, 658.
33. Ostrowski W. i Skarżyński B. – A simplified electrophoresis method for clinical applications. Pol. Tyg. Lek. 1952, 5-6, 120.
34. Ostrowski W. and Oszast Z. - Studies on electrophoretic and polarographic changes in the blood serum of patients with cutaneous tuberculosis treated with thiosemicarbazone. Pol. Tyg. Lek. 1955, 30, 982.
35. Ostrowski W. - Paper electrophoresis of the blood serum proteins in clinical application. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 1a, 213.
36. Pajor W. J. - Agammaglobulinemia - causes and treatment. Przeg. Lek. 1956, 9, 277.
37. Pechar J. and Havlova M. – Elektroforeza bilkovin na papire. Sbor. Pathofysiol. Traveni a vyzivy. 1954, VIII, 3.
38. Rogulski J. and Smoczkiewiczowa A. – Liver damage in the electrophoretic image of the blood serum proteins. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 4, 731.
39. Ruszkowski M. – Own modification of paper electrophoresis. Pol. Tyg. Lek. 1957, 19, 722.
40. Siciński A. and Szajewski J. – Behaviour of protein levels and fractions in the blood serum in certain diseases. Pol. Arch. Med. Wewn. 1955, 1a, 249.
41. Skarżyński, Ostrowski W., Niewiarowska A. and Żak Z. - Combination of B_{12} vitamin with proteins. Acta Biochim. Polon. 1955, 2, II, 115.
42. Stekowicz S. – Paper electrophoresis. Wiad. Lek. 1958, 7, 303.
43. Stekowicz S. – Marking of lipoproteins in the blood serum with simplified paper electrophoresis. Przeg. Lek. 1958, XIV, 12, 385.
44. Szajna M. – The influence of a protein breakfast on the tests of protein instability in the blood serum. Pol. Tyg. Lek. 1953, 35, 1193.
45. Szczeklik E., Bogdanikowie B. and T., Janiakowa A. – Circulatory failure treatment in the cases of blood protein deficiency. Pol. Tyg. Lek. 1956, 7, 319.
46. Tymiński W. – Certain notes on paper and agar electrophoresis. Postępy Higieny i Med. Doświadcz. 1958, 12, 515.

47. Tynecki J., Boczkowski Z., Rein M. – Blood serum proteins in women in labour and at the beginning of physiological puerperium. Pol. Tyg. Lek. 1959, 6, 253.
48. Vaedtke J. – Gamma globulins and their clinical significance. Pol. Arch. Med. Wewn. 1958, 6, 947.
49. Wender M. – Report from International Scientific Session on "The proteins in biological fluids"(V Colloquium Saint Jans Hospital Bragge, Belgium 4-6 May 1957). Postępy Wiedzy Med. 1957, IV, 4, 420.
50. Żydowo M. and Górski M. – Certain properties of the blood serum versus fractions following a salting-out method in various medical conditions. Pol. Tyg. Lek. 1953, 44, 1497.
51. Żydowo M. – Natural ultrafiltration of human blood as a result of a change of a position. Pol. Tyg. Lek. 1952, 22, 697.
52. Żydowo M. and Kamiński Z. - Blood serum fractions in patients treated with largactil. Acta Biochim Polon. 1955, 2, 443.
53. Żydowo M. – Certain biochemical changes in the blood of a healthy human under the influence of adrenaline. Acta Biochim. Pol. 1954, 1-2, I, 139.
54. Dolatkowski A. – A selection of works as of 1929-1957, Gdynia 1957.
55. Pawelski S. and Zawadzki Z. - Norms and normal conditions in internal medicine PZWL 1958 Warsaw.
56. Homolka J. – Biochemical diagnostics PZWL 1958 Warsaw.
57. Krupiński J. and Gorzelak E. – Statistics in Health Care PZWL 1954 Warsaw.
58. Mills F. C. – Statistical Methods. New York 1956.

Z głębokim żalem i smutkiem zawiadamiamy, iż zmarł Członek Rady Naukowej Polish Hyperbaric Research od początku istnienia naszego kwartalnika, pan kmdr rez. prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny, długoletni wykładowca Wyższej Szkoły Marynarki Wojennej i Akademii Marynarki Wojennej.

Prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny urodził się 1 stycznia 1947 r. w Puławach. Absolwent Wydziału Technicznego Wyższej Szkoły Marynarki Wojennej. Po kilkuletniej służbie na okrętach i studiach uzupełniających rozpoczął pracę na stanowisku st. asystenta w Zakładzie Eksploatacji Okrętów Katedry Technologii i Eksploatacji w WSMW. W działalności naukowo-badawczej zajmował się zagadnieniami trwałości i niezawodności urządzeń okrętowych.

W 1976 r. uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych nadany uchwałą Rady Instytutu Politechniki Gdańskiej. W dalszym ciągu pracował dydaktycznie i naukowo w WSMW w Instytucie Technicznej Eksploatacji Okrętów, na stanowisku adiunkta, pełniąc dodatkowo funkcję zastępcy szefa instytutu i zajmując się zagadnieniami eksploatacji głównie silników okrętowych. Następnie objął funkcję Szefa Oddziału Naukowego AMW, a w 1995 r. uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego na Radzie Wydziału Maszyn Roboczych i Pojazdów Politechniki Poznańskiej. Zajmował stanowisko profesora nadzwyczajnego AMW pełniąc dalej funkcję szefa Oddziału Naukowego. W dniu 30 czerwca 2003 r. Prezydent RP nadał komandorowi Piasecznemu tytuł naukowy profesora nauk technicznych.

W latach 2003 – 2006 pełnię obowiązki Dziekana-Komendanta Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego AMW. W 2006 r. zakończył zawodową służbę wojskową i podjął dalszą pracę na stanowisku profesora zwyczajnego w macierzystym Instytucie Budowy i Eksploatacji Okrętów, zajmując się problemami obniżenia toksyczności spalin przez okrętowe tłokowe silniki spalinowe, metodami określania charakterystyk tej emisji na podstawie modeli ruchu statków, nowoczesnymi technologiami napraw urządzeń okrętowych itd.

Prof. Leszek Piaseczny zmarł, po długiej i wyczerpującej chorobie, 4 kwietnia 2014 r. i został pochowany na Cmentarzu Komunalnym w Gdyni – Witominie.