

Author's Contribution

A – Study Design
B – Data Collection
C – Statistical Analysis
D – Data Interpretation
E – Manuscript Preparation
F – Literature Search
G – Funds Collection

Zaangażowanie Autorów

A – Przygotowanie projektu
badawczego
B – Zbieranie danych
C – Analiza statystyczna
D – Interpretacja danych
E – Przygotowanie manuskryptu
F – Opracowanie piśmiennictwa
G – Pozyskanie funduszy

Michalina Śpiewak^{1(A,D,E)} (ORCID: 0009-0008-5829-8782)**Przemysław Śpiewak**^{1(B,F,G)} (ORCID: 0000-0001-6053-9663)**Jarosław Markowski**^{2(D,F)} (ORCID: 0000-0003-3416-7354)¹ The Non-Public Health Care Facility, Audiofonika, Bielsko-Biała, Poland² Department of Laryngology, Faculty of Medical Sciences in Katowice, Medical University of Silesia, Katowice, Poland¹ Niepubliczny Zakład Opieki Zdrowotnej Audiofonika, Bielsko-Biała, Polska² Klinika Laryngologii, Wydział Lekarski w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Katowice, Polska

EAR DISEASES DUE TO DIVING WITH AN AQUALUNG

CHOROBY USZU SPOWODOWANE NURKOWANIEM Z AKWALUNGIEM

Key words: diving, middle ear barotrauma, inner ear barotrauma, inner ear decompression sickness

Słowa Kluczowe: nurkowanie, uraz ciśnieniowy ucha środkowego, uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego, choroba dekompresyjna ucha wewnętrznego

Summary

Due to the growing popularity of diving, more and more people suffer from injuries related to this activity and ear injuries are among the most common ones. During diving, dysfunction of both the external, middle and inner ear are likely to occur. Inflammation is the most common disease of the external ear, which, in most cases, requires only local treatment with ear drops. Barotrauma of the middle and inner ear may occur due to Eustachian tube failure and difficulties in equalizing underwater pressure, also manifested as hearing loss and dizziness. In most cases, conservative treatment is applied, however, under specific conditions such as perforation of the tympanic membrane or the presence of persistent perilymphatic fistulas, surgical treatment may be necessary. In the case of severe dizziness or hearing loss during ascent after diving at great depths, a preliminary diagnosis of inner ear decompression sickness should be made and the patient should be placed in a hyperbaric oxygen chamber as a matter of urgency.

Streszczenie

Ze względu na rosnącą popularność nurkowania coraz więcej osób doznaje urazów związanych z tą aktywnością, a uszkodzenia ucha należą do najczęstszych. Podczas nurkowania może dojść do dysfunkcji zarówno ucha zewnętrznego, jak i środkowego oraz wewnętrznego. Najczęstszym schorzeniem ucha zewnętrznego jest zapalenie, które w większości przypadków wymaga wyłącznie leczenia miejscowego kroplami do uszu. Barotrauma ucha środkowego i wewnętrznego może wystąpić z powodu niewydolności trąbki słuchowej oraz trudności w wyrównywaniu ciśnienia pod wodą, objawiając się m.in. niedosłuchem i zawrotami głowy. W większości przypadków stosuje się leczenie zachowawcze, jednak w niektórych sytuacjach, takich jak perforacja błony bębenkowej czy obecność przetrwałych przetok perilymfatycznych, konieczne może być leczenie operacyjne. W przypadku pojawienia się silnych zawrotów głowy lub niedosłuchu przy wynurzaniu się po nurkowaniu na duże głębokości, należy wstępnie rozpoznać chorobę dekompresyjną ucha wewnętrznego i umieścić pacjenta w tlenowej komorze hiperbarycznej w trybie pilnym.

Word count: 5897**Tables:** 2**Figures:** 5**References:** 23**Address for correspondence / Adres do korespondencji**

Michalina Śpiewak

32-153 Kraków, ul. Szlak 77/427

e-mail: przemyslaw.spiewak@gmail.com

Received / Otrzymano

17.04.2024 r.

Accepted / Zaakceptowano

14.08.2024 r.

Background

Recreational diving is an increasingly popular leisure activity, both for people of all ages and for those with different health states. According to Diving Equipment & Marketing Association (DEMA) there are about 6 million actively diving people using the – Self Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA) and about 20 million people diving with a snorkel (snorkelers). Actively diving people are those who dived at least once within the last 12 months [1]. With the increase in the number of inexperienced and sometimes not enough prepared to diving amateur divers, the injury and disease rate is increasing and ear dysfunctions are the most frequent conditions in this group [2].

The ear is divided into three parts: inner ear, middle ear and external ear [3].

The external ear is mainly composed of the ear concha located on the lateral surface of the concha head, covered with skin, which passes medially into the external auditory canal (EAC). The middle ear (ME) located in the petrous part of the temporal bone, is mainly composed of the tympanic cavity (TC) containing three auditory ossicles. The tympanic cavity is laterally separated from the external auditory canal (EAC) by the tympanic membrane. The inner ear forms its lateral wall. It narrows towards the front to become a pass into the auditory tube, and backwards, it joins with the mastoid process cavities. The task of the auditory tube which ends in the nasal part of the pharynx is to equalize air pressure in middle ear cavities. All pathological factors, leading to auditory tube insufficiency, significantly increase the risk of pressure injuries of the ear during diving. [4].

The inner ear (IE) is medially located to the middle ear in the temporal bone. Due to its characteristic shape also called labyrinth, it is composed of membranous follicles filled with endolymph, and canals (membranous labyrinth), surrounded by adequate bony structures (bony labyrinth) filled with perilymph. The inner ear contains the proper auditory organ and equilibrium receptor [3].

Pathologies, being the consequences of diving, may concern any part of the ear.

The conditions of the external ear which may be the consequences of diving:

- a) Swimmer's ear: Inflammation of the external auditory canal (EAC), also called swimmer's ear, is the most frequent condition in people who often swim in water. Infection of the skin damaged due to maceration of the outer auditory canal is the factor evoking inflammatory conditions. Acute inflammation of the external ear has most often bacterial etiology, namely: *Pseudomonas aeruginosa* (22-62%), *Staphylococcus aureus* (11-34%), *Staphylococcus epidermidis* (9,1%) and anaerobes (4-25%). Infections with mixed flora are common infections in this case. Fungal or viral infections are rather rare [5,6]. The main symptoms include tenderness and ear pain, and more rarely, edema and leak from the external auditory canal. In such cases, otoscopic examination reveals swelling and redness of the skin in the external auditory canal and pathological content in the area of tract cavity. The treatment of choice involves topical application of ear drops containing antiseptic substances

Wstęp

Nurkowanie rekreacyjne staje się coraz bardziej popularnym sposobem spędzania wolnego czasu zarówno wśród osób w różnym wieku, jak i różnym stanie zdrowia. Wg. DEMA (Diving Equipment & Marketing Association) na świecie jest około 6 milionów osób aktywnie nurkujących z aparatem do nurkowania (SCUBA -Self Contained Underwater Breathing Apparatus) i około 20 milionów nurkujących z „fajką” (snorkelers). Za aktywnie nurkujących uważa się takich którzy nurkowali co najmniej 1 raz w ciągu ostatnich 12 miesięcy [1]. Wraz ze wzrostem liczby niedoświadczonych i często niedostatecznie przygotowanych amatorów nurkowania wzrasta liczba urazów i schorzeń będących następstwem przebywania pod wodą, spośród których dysfunkcje ucha należą do najczęstszych [2].

Ucho podzielono na trzy części: ucho zewnętrzne, środkowe oraz wewnętrzne [3].

Ucho zewnętrzne (UZ) składa się z położonej na bocznej powierzchni głowy pokrytej skórą małżowiny usznej, która przechodzi przyśrodkowo w przewód słuchowy zewnętrzny (PSZ).

Ucho środkowe (US) umiejscowione w części skalistej kości skroniowej, składa się głównie z zawierającej trzy kosteczki słuchowe jamy bębenkowej (JB). JB odgraniczona jest bocznie od PZS błoną bębenkową. Jej ścianę boczną stanowi ucho wewnętrzne. Ku przodowi się zwęża i przechodzi w trąbkę słuchową, a z tyłu łączy się z jamami wyrostka sutkowatego. Zadaniem uchodzącej w części nosowej gardła trąbki słuchowej (TS) jest wyrównywanie ciśnienia powietrza w jamach US. Wszelkie patologie prowadzące do niewydolności trąbki słuchowej, znamienne zwiększają ryzyko urazów ciśnieniowych ucha w trakcie nurkowania [4].

Ucho wewnętrzne (UW) umiejscowione jest przyśrodkowo od US w kości skroniowej. UW, ze względu na swój charakterystyczny kształt zwane także błędnikiem, składa z wypełnionych śródchłonką błoniastych pęcherzyków i przewodów (błędnik błoniasty), które są otoczone odpowiednimi dla nich strukturami kostnymi (błędnik kostny) wypełnionymi przysłuchówką. UW mieści właściwy receptor narządu słuchu i równowagi [3].

Patologie będące następstwem nurkowania mogą dotyczyć każdej części ucha.

Schorzenia związane z UZ, które mogą być następstwami nurkowania:

- a) Ucho pływaka: Najczęstszą chorobą rozwijającą się u ludzi często przebywających w wodzie jest zapalenie PSZ zwane także uchem pływaka. Czynnikiem wywołującym stan zapalny jest zakażenie uszkodzonej poprzez macerację skóry PSZ. Ostre zapalenie ucha zewnętrznego ma najczęściej etiologię bakteryjną: *Pseudomonas aeruginosa* (22-62%), *Staphylococcus aureus* (11-34%), *Staphylococcus epidermidis* (9,1%), beztlenowce (4-25%). Powszechne są zakażenia florą mieszaną. Do zakażeń grzybiczych lub wirusowych dochodzi bardzo rzadko [5,6]. Głównymi objawami są tkliwość i ból ucha oraz rzadziej wyciek z PSZ. W badaniu otoskopowym można uwidocznic obrzęk i zaczerwienienie skóry PSZ oraz patologiczną treść w obrębie jamy przewodu. Postępowaniem z wyboru jest miejscowe stosowanie kropli do ucha zawier-

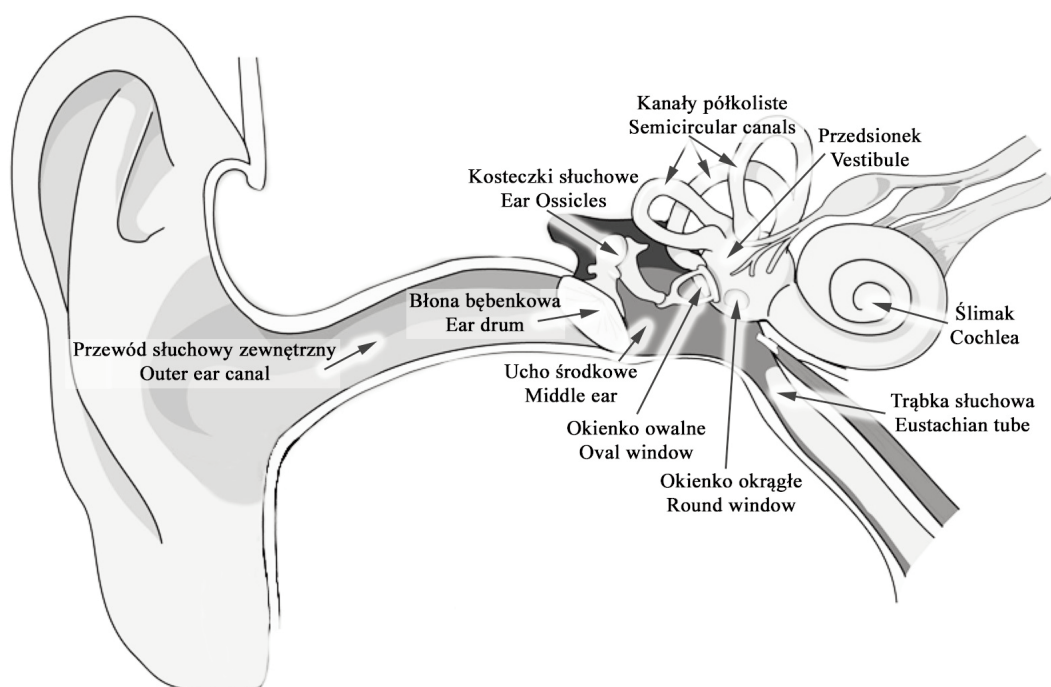


Fig. 1. Cross section of the ear/Ear anatomy
Ryc. 1. Przekrój przez ucho/Ear anatomy

or antibiotics, and, in the case of the closed auditory canal, also sterides. Topical treatment should be applied within approximately eight days. In cases of a massie swelling, the patients should consult an otolaryngologist for a topical application of setons soaked with active substances. Systemic application of antibiotic treatment is justified in the case of a spread inflammatory condition beyond the external auditory canal, and in patients with diabetes or immunodeficiency [6-10]. Prophylaxis of the „swimmer’s ear” involves the application of ethanol or isopropyl with acetamide, after swimming, or using appropriate ear plugs.

- b) Exostoses: Exostoses, commonly called osteomas or surfer’s ears, are most often cylondrical stratifications of the bony tissue, magnifying to the conductor lumen. They are the consequence of chronic periostium inflammation in the closed auditory canal, developed due to frequent bathing in cold woter. Exostozes narrow the EAC lumen and make spontaneous ear cleaning difficult, which favors the development of inflammation. In the case of a complete blockade of the external auditory canal, conductive hypoacusis is developed. The treatment involves a surgical removal of exostozes and widening of the lumen of the external auditory canal.
- c) Barotrauma of the external ear: Barotrauma of the external ear may be manifested under conditions of a complete blockade of the external auditory canal by exostoses, compact cerumen or epidermal masses, and also ear plugs or a swimming cap, or hood tightly adjoining to the external auditory canal. When, during bathing or swimming under water the air pressure in the cavity between

rających substancje antyseptyczne lub antybiotyki, a w przypadkach obrzęku PZS leki sterydowe. Leczenie miejscowe powinno być stosowane przez okres około 8 dni. W przypadkach masywnego obrzęku chory powinien udać się do lekarza otolaryngologa w celu miejscowego podawania setonów nasączanych substancjami czynnymi. Systemowe podawanie antybiotyków jest uzasadnione przy szerzeniu się stanu zapalnego poza PSZ oraz u pacjentów obarczonych cukrzycą lub niedoborami odporności [6-10]. Profilaktyka „ucha pływaka” polega na stosowaniu roztworów alkoholu etylowego lub izopropylowego z kwasem octowym po pływaniu lub odpowiednich „zatyczek” do uszu.

- b) Eksostozy: Eksostozy zwane potocznie kostniakami PSZ lub „uchem surfera” są to najczęściej obłe nawarstwiania tkanki kostnej uwypuklające się do światła przewodu. Są one następstwem przewlekłego zapalenia okostnej ścian PSZ powstałego wskutek częstego przebywania w zimnej wodzie. Eksostozy zwężają światło PSZ i utrudniają samoistne oczyszczanie się ucha, co sprzyja rozwojowi zapalenia. W przypadku całkowitego zablokowania PSZ występuje niedosłuch przewodzeniowy. Leczenie polega na operacyjnym usunięciu eksostoz i poszerzeniu światła PSZ [11].
- c) Barotrauma UZ: Barotrauma UZ może wystąpić w sytuacji całkowitej blokady PSZ przez eksostozy, zbite masy woskowinowe lub naskórkowe, a także zatyczki uszne lub ściśle przylegający do otworu słuchowego zewnętrzny czepek lub kaptur. Gdy w trakcie przebywania pod wodą ciśnienie powietrza zawartego w jamie pomiędzy błoną bębenkową, ścianami PSZ a blokadą będzie znacznie niższe niż w UŚ, może dojść do stanu zapalnego

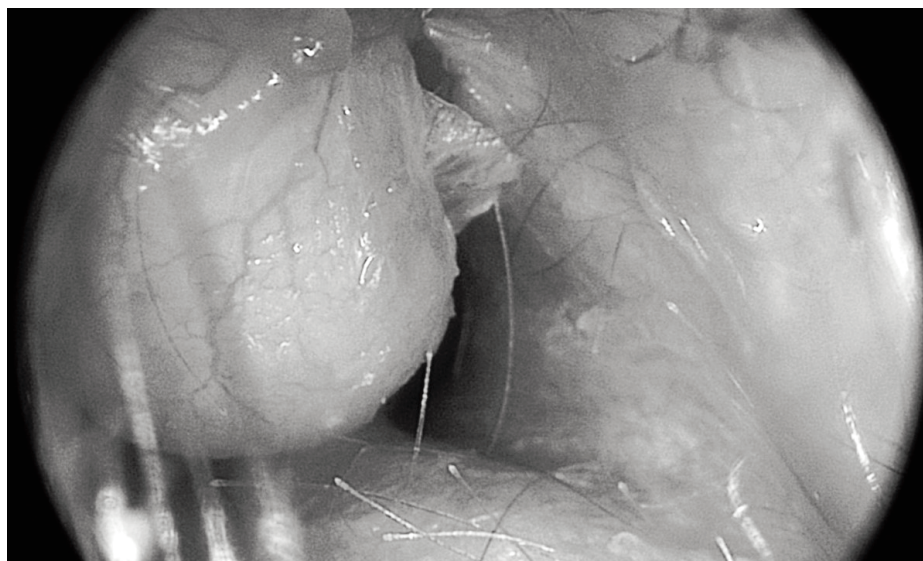


Fig. 2. Exostoses of the outer ear canal

Ryc. 2. Eksostozy przewodu słuchowego zewnętrznego

the tympanic membrane, external auditory canal wall and the blockade is significantly lower than in the middle ear, the diver may develop the inflammatory condition of the external auditory canal which is significantly lower than in the middle ear, an inflammatory condition may be developed as well as suction of the fluid to conductor cavity from the surrounding tissues, or even interruption of tympanic membrane continuity may take place. External ear barotrauma is more rare than middle ear and inner ear barotrauma [12,2].

- d) Vertigo: External ear occlusion may be due to different heat convection in the left and the right ear. Differences in caloric labyrinthine excitation may result in strong vertigo with emesis which, in the case of diving with a breathing apparatus (SCUBA) entails a life threatening condition [12,13].

Barotrauma of the middle ear (MEB) is one of the most frequent conditions related to diving: The development of MEB is due to the lack of pressure balance between middle ear cavities and the adjacent tissues. Already during diving at depth 1.2 m. there is a risk of middle ear injury. [12]. According to Boyle law, an increase in pressure in the surrounding tissues leads to a proportional reduction of residual gas volume in ear cavities. The lack of pressure balance, which is achieved using the auditory tube, leads to the development of negative pressure in the middle ear and next, to growth of permeability of mucoperiosteum vessels and the development of exudation which may contain an admixture of blood and air bubbles. This results in serum related otitis media. With further growth of pressure differences, massive blood extravasation to middle ear cavities is developed and the difference of over 100 kPa may contribute to tympanic membrane perforation. Cold water flow to middle ear cavity stimulates the labyrinth, which results in vertigo accompanied by emesis [12,14]. Vertigo may be also due to asymmetric stimulation of the vestibular organs, related to pressure differences between ears (Alternobaric Vertigo).

PSZ, zassania płynu do jamy przewodu z otaczających tkanek czy nawet przerwania ciągłości błony bębenkowej. Barotrauma UZ występuje znacznie rzadziej niż UŚ i UW [12,2].

- d) Zawroty głowy: Z niedrożnością PSZ może być związana różna konwekcja ciepła w uchu lewym i prawym. Różnice kalorycznego wzbudzenia błędników mogą skutkować silnymi zawrotami głowy z wymiotami, co w przypadku nurkowania z aparatem do oddychania (SCUBA) jest stanem zagrożenia życia [12,13].

Jedną z najczęstszych chorób związanych z nurkowaniem w obszarze UŚ jest barotrauma ucha środkowego (BTUŚ): Do powstania BTUŚ prowadzi brak równowagi ciśnień między jamami UŚ a przyległymi tkankami. Już przy zanurzeniu na głębokość 1,2 metra może dojść do urazu UŚ [12]. Zgodnie z prawem Boyla, wzrost ciśnienia w otaczających tkankach prowadzi do proporcjonalnego zmniejszenia objętości gazu zalegającego w jamach ucha. Brak równoważenia ciśnień przez trąbkę słuchową podczas zanurzenia prowadzi do powstania podciśnienia w UŚ, a następnie do wzrostu przepuszczalności naczyń wyściółki („mucoperiosteum”) i pojawienia się przesiąku, który może zawierać domieszkę krwi oraz pęcherzyki powietrza. To skutkuje wystąpieniem surowiczego zapalenia ucha środkowego. Przy dalszym wzroście różnicy ciśnień dochodzi do masywnych wynaczynień krwi do jam UŚ, a różnica ponad 100 kPa może spowodować perforację błony bębenkowej. Przepływ zimnej wody do jamy UŚ wzbudza błędnik, co skutkuje zawrotami głowy z towarzyszącymi wymiotami [12, 14]. Zawroty głowy typu „Vertigo” mogą być również spowodowane niesymetrycznym pobudzeniem narządów przedsionkowych związanym z różnicami ciśnień pomiędzy uszami (Alternobaric Vertigo)

Do urazu ciśnieniowego UŚ może dojść także w czasie szybkiego wynurzania się, w sytuacji gdy rozprężony gaz nie może wydostać się z ucha poprzez trąbkę słuchową. W takich przypadkach mówimy o odwrotnej blokadzie ucha (reverse block).

Pressure injury of the middle ear may be also developed during fast surfacing when the free gas cannot leave the ear through the eustachian tube. In such cases, we speak of a reverse ear block. Any defects and illnesses related to deficiency of the auditory tube such as:

- Chronic inflammation of the mucous membrane of the nose and sinuses with or without polyps;
- A clinically significant nasal septum deviation;
- Cleft palate and other defects of the facial bones;
- Antrochoanal polyps and other tumors of the nasal cavity and the nasal part of the pharynx;
- Adenoidal growths, impairing patency of the eustachian Tube pharyngeal growths, predispose to middle ear barotrauma (MEBT)
- Inborn ciliary dyskineses e.g. Kartagener's syndrome.
- A higher risk of pressure injury of the middle ear is noted in kindergarten and younger children due to typical in this age physiological insufficiency of the auditory tube. One should not dive during and immediately after acute infection of the airways (common cold) [4,12].

Diagnosis of pressure injury of the middle ear is based on history taking and otoscopy. Assessment of the degree of disease advancement in otoscopy involves using a modified Teed scale [16] (Tab. 1).

In most of the cases middle ear barotrauma (MEB) does not require treatment. The patient should not dive until the disease is completely cured. In case of pain, non steroid antiinflammatory drugs (NSAD) are applied. In the case of persistent perforation of the tympanic membrane, a surgical reconstruction (myringoplasty) may be performed.

Prior to diving, it is necessary, (if possible) to cure all diseases and defects related to auditory tube dysfunction. During diving, when the diver experiences sensation of distention, it is necessary to try to equalize pressure through Valsalva maneuver performance, namely autoinflation. It consists in a definite air exhalation through the nose with the frontal nostrils

The exhaled air, instead of leaving the nasal cavity, is directed to the eustachian tube, and next, to the middle ear (ME). Autoinflation exercises may be performed prior to diving using Valsalva maneuver or special balloons to be inflated using the nose (Otovent®). When the released air cannot be freed from the ear after surfacing (due to "inverted blackade"),

Do BTUŚ predysponują wszelkie wady i schorzenia związane z niewydolnością trąbki słuchowej, jak:

- Przewlekłe zapalenie błony śluzowej nosa i zatok z polipami lub bez.
- Istotne klinicznie skrzywienie przegrody nosa.
- Rozszczepy podniebienia i inne wady twarzoczaszki.
- Polipy antro-choanalne i inne guzy jamy nosowej oraz części nosowej gardła.
- Wyrośla adenoidalne (ang. adenoids) zaburzające drożność ujścia gardłowego trąbki słuchowej.
- Wrodzone dyskinezy rzęskowe, np. Zespół Kartagenera.
- Większe ryzyko urazu ciśnieniowego ucha środkowego występuje u dzieci przedszkolnych i młodszych z powodu występującej w tym wieku fizjologicznej niewydolności trąbki słuchowej. Nie powinno się nurkować w czasie i zaraz po przechorowaniu ostrej infekcji górnych dróg oddechowych (ang. common cold) [4,12].

Rozpoznanie urazu ciśnieniowego ucha środkowego stawia się na podstawie wywiadu i badania otoskopowego. Do oceny stopnia zawansowania choroby w otoskopii najczęściej wykorzystuje się zmodyfikowaną skalę Teeda [16] (Tab. 1).

Większość przypadków BTUŚ nie wymaga leczenia. Chory nie powinien ponownie nurkować do czasu całkowitego wyleczenia choroby. W przypadkach bólu stosuje się niesterydowe leki przeciwzapalne lub inne leki przeciwbólowe. Przy przetrwalej perforacji błony bębenkowej można wykonać jej operacyjną rekonstrukcję (myringoplastykę).

Przed przystąpieniem do nurkowania należy, jeśli to tylko możliwe, wyleczyć schorzenia i wady związane z dysfunkcją trąbki słuchowej. Podczas nurkowania, w sytuacji uczucia rozpierania lub bólu w uchu, powinno się próbować wyrównać ciśnienie poprzez wykonanie manewru Valsalvy, czyli autoinflacji. Polega on na zdecydowanym wydychaniu powietrza przez nos, przy zatkanych palcami nozdrzach przednich.

Wydychane powietrze, zamiast opuszczać jamę nosową, jest przekierowywane do trąbki słuchowej i dalej do UŚ. Ćwiczenia autoinflacji można wykonywać przed nurkowaniem poprzez manewr Valsalvy lub używając specjalnych balonów do dmuchania nosem (Otovent®). Gdy rozprężone powietrze nie może zostać uwolnione z ucha po wynurzeniu z powodu „odwrotnej blokady”, należy zastosować manewr Toynbee. Polega on na polykaniu śliny z zamkniętymi uszami.

Tab. 1. Modified Teed classification of middle ear barotrauma [12,16]

Tab. 1. Stopnie zawansowania urazu ciśnieniowego ucha środkowego w zmodyfikowanej skali Teeda [12,16]

Squats / Przysiady	Left / Lewa	Right / Prawa
Traditional squats / Przysiady tradycyjne	0.773 ±0.019	0.743 ±0.020
Squat with medicine ball / Przysiady z piłką lekarską	0.823** ±0.043	0.799* ±0.041
Squat with Gymstick / Przysiady z Gymstickiem	0.875*** ±0.052	0.845*** ±0.051

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 – differences between traditional squats and squats with equipment

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 – różnice między przysiadami tradycyjnymi i przysiadami z przyborem

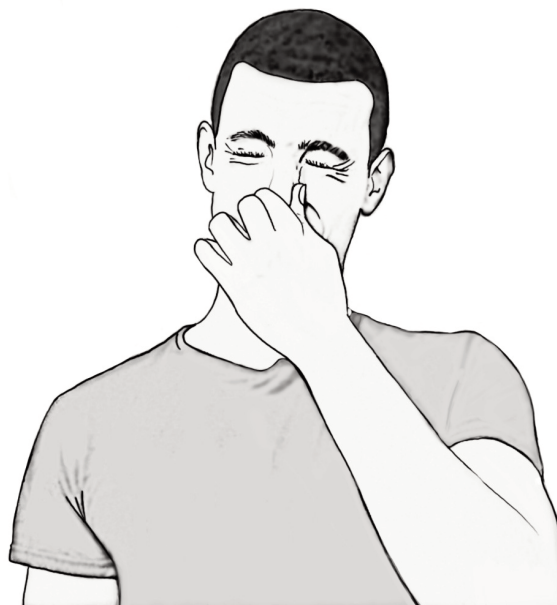


Fig. 3. Manewr Valsalvy
Ryc. 3. Valsalva Maneuver

Toynbee's maneuver should be applied. It consists in swallowing of the saliva with the mouth closed and frontal nostrils blocked, which results in negative pressure generation in the nasal and pharyngeal cavities, and suction of excessive air from the middle ear through the auditory tube [17,18].

Inner ear damage as the effect of diving:

– Inner Ear Barotrauma (IEBt)

Inner ear barotrauma, as well as the pressure injuries in the external ear and middle ear areas, is developed due to the lack of pressure equalization in the neighbouring body cavities. Two mechanisms of inner ear injury are suggested, both connected with Valsalva maneuver performance at the depth exceeding 10 m. The first mechanism, with strenuous autoinflation involves a sudden opening of the tube and growth in air pressure in the middle ear. On the wall of the medial tympanic cavity there are two spots of a reduced resistance, namely: Vestibular or Oval Window closed with the stapes plate and the cochlear window (Round Window) covered with a thin secondary tympanic membrane. With a sudden pressure growth, invagination of stapes platelet to inner ear cochlea and break of the secondary tympanic membrane are possible.

During the activity of the second pathomechanism, when the Valsalva maneuver turns out ineffective, pressure growth occurs in the cerebrospinal fluid, which results in fluid pressure growth in the external ear.

This, in turn, may result in interruption of cochlear basilar membrane continuity and damage to the windows of the inner ear.

In the IEBt a frequent bleeding to middle and inner ear spaces is noted. The symptoms of such injuries include Sensori-Neurinal Hearing Loss (SNHL) accompanied, in certain cases, by a conductive component and, in about 10% of the cases, by vertigo with emesis, other vegetative symptoms and nystag-

tami i zatkanych nozdrzach przednich, co powoduje podciśnienie w jamach nosa i gardła oraz zassanie nadmiaru powietrza z ucha środkowego przez trąbkę słuchową [17,18].

Uszkodzenia UW będące skutkiem nurkowania:

– Barotrauma ucha wewnętrznego – BTUW.

Do BTUW, tak jak do powyżej opisanych urazów ciśnieniowych w obszarach UŻ i UŚ, dochodzi na skutek braku wyrównania ciśnienia w sąsiadujących ze sobą jamach ciała. Proponowane są dwa mechanizmy urazu UW, oba są związane z wykonywaniem manewru Valsalvy na głębokości większej niż 10 m. W pierwszym mechanizmie, przy forsownej autoinflacji, dochodzi do nagłego otwarcia trąbki i wzrostu ciśnienia powietrza w UŚ. Na ścianie przysiódkowej jamy bębnekowej znajdują się dwa miejsca zmniejszonego oporu: okienko przedsionka, czyli owalne, (Oval Window) zamknięte płytką strzemiączka oraz okienko ślimaka (okrągłe) (Round Window) pokryte cienką błoną bębenkową wtórną. Przy nagłym wzroście ciśnienia może dojść do wgłobienia płytki strzemiączka do ślimaka UW i przerwania błony bębenkowej wtórnej

Podczas drugiego patomechanizmu, gdy wykonywany manewr Valsalvy jest nieskuteczny, dochodzi do wzrostu ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego (cerebrospinal fluid pressure), co skutkuje wzrostem ciśnienia płynów w uchu wewnętrznym.

Skutkować to może przerwaniem ciągłości błony podstawnej ślimaka UW (ang. basilar membrane) i uszkodzeniem okienek UW.

W BTUW występują często krwawienie do przestrzeni UŚ i UW. Objawami tego urazu są niedosłuch czuciowo-nerwowy (Sensori-Neurinal Hearing Loss SNHL), do którego w niektórych przypadkach dołącza się komponenta przewodzeniowa (ang. Conductive) oraz w około 10% przypadków zawroty głowy (Vertigo) z wymiotami i innymi objawami wegetatywnymi

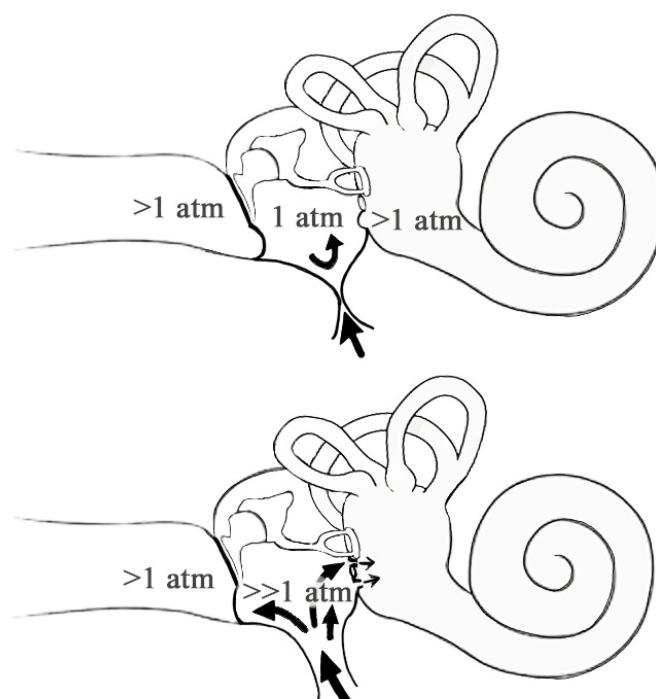


Fig. 4. Pressure injury of the inner ear. A sudden injury of the eustachian tube leads to a sudden pressure growth and inner ear barotrauma. The sudden opening of the auditory tube leads to a sharp increase in pressure in the middle ear and damage to the inner ear

Ryc. 4. Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego. Nagłe otwarcie trąbki słuchowej prowadzi do gwałtownego wzrostu ciśnienia w uchu środkowym i uszkodzenia ucha wewnętrznego

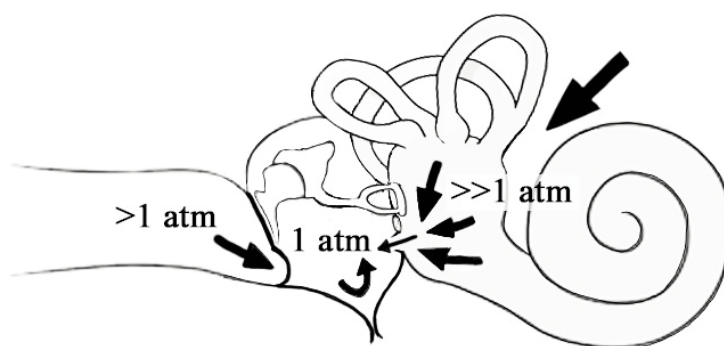


Fig. 5. Inner Ear Barotrauma. A forceful ineffective Valsalva maneuver leads to an increase in the pressure of the cerebrospinal fluid, endo- and perilymphs of the labyrinth which may result in damage to the inner ear

Ryc. 5. Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego. Nieskuteczna, a forsowna próba Valsalvy skutkuje wzrostem ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego oraz śród- i przychłonki błędnika co może skutkować uszkodzeniem ucha wewnętrznego

mus. Some anomalies of the inner ear, such as widening of cochlear aqueduct mouth, predispose to IEBt.

There is no settled scheme of medical procedures in the case of this disease. Until the symptoms cease, the patient should lie with the head slightly raised. Steroid treatment within 15-20 days is recom-

oraz oczopląsem (Nystagmus). Do BTUW predysponują niektóre anomalie ucha UW, jak np. poszerzenie ujścia wodociągu ślimaka.

Nie ma ustalonego schematu postępowania w tym schorzeniu. Do ustąpienia objawów pacjent powinien leżeć z nieznacznie uniesioną głową. Proponuje się

mended. In the case of a suspected perilymphatic fistula, surgical treatment should be considered [18-20].

Inner Ear Decompression Sickness – IEDS).

According to Henry's Law, solubility of gas in a glass is proportional to gas pressure in the environment. Therefore, during immersion, gas permeates to the tissues due to pressure growth while during surfacing it precipitates in vessels in a form of bubbles. IEDS is due to a sudden drop in pressure in the environment during surfacing, and thus, the presence of gas bubbles in inner ear vessels, which leads to oversaturation by body fluid gas. The vestibular part of the inner ear is to the highest extent exposed to damage due to the unfavorable relation between body mass to the providing vessel, which entails a long period of organ cleaning. [21]. The mechanism of this condition has not been fully explained so far, however, it is suggested that it may be due to coagulation cascade evoked by the contact between gas and the vascular endothelium, leading to tissue hypoxia. A direct damage to the inner ear by the precipitated bubbles in the perilymph or endolymph is also possible. In patients with a persistent opening in the right to left cardiac shunt, the bubbles from venous circulation get into arteries, which results in gas embolism in the labyrinthine arteries. At the department of Hyperbaric Medicine Fiona Stanley Hospital in Murdoch, Australia in as many as 6 among 10 patients treated due to IEDS were diagnosed with a precipitated foramen ovale [22]. Other risk factors for patients with IEDS include: older diver's age, gender (female) and obesity. IEDS is more often present in people diving after alcohol consumption [19,20]. Vestibular symptoms in IEDS are almost thrice as frequent than the symptoms related to cochlear organ damage. Vestibular organ damage is manifested by vertigo with an associated horizontal or rotational nystagmus, or horizontal-rotational nystagmus, nausea and emesis. Sensorimotor hypoacusis, often accompanied by tinnitus, is the symptom of damage to the cochlear part of the inner ear. IEDS symptoms are usually noted after surfacing with the mean time of about 25 minutes [20]. In patients with decompression sickness, such symptoms as circulatory system dysfunction, Central Nervous System dysfunction as well as the symptoms from the lungs, the lymphatic tissue, the musculoskeletal system and skin may be manifested. Frequent diving in short time intervals and aspiration of helium and oxygen mixture are the factors predisposing to IEDS [20]. In such cases, the treatment in an oxygen hyperbaric chamber is the treatment of choice and should be applied as soon as possible.

Both inner ear barotrauma (IEBt) and inner ear decompression sickness (IEDS) may lead to a durable damage to the vestibulo-cochlear organ. Despite similar symptoms, a diverse treatment of each aforementioned conditions is necessary, therefore, after the first symptoms, differential diagnosis should be immediately carried out (Tab. 2).

The symptoms of pressure injuries may occur during immersion, surfacing or staying under water, and immediately after surfacing. The symptoms of IEDS are most frequent after surfacing or during quick surfacing.

Middle ear barotrauma (MEB) may occur after Valsalva maneuver performance, contrary to inner ear de-

podawanie sterydów przez okres 15 do 20 dni. W przypadku podejrzenia obecności przetoki perilimfatycznej (ang. perilymphatic fistula) należy rozważyć leczenie operacyjne [18-20].

Choroba dekompresyjna ucha wewnętrznego (ChDUW) (ang. Inner Ear Decompression Sickness - IEDS).

Zgodnie z prawem Henry'ego (ang. Henry's Law), rozpuszczalność gazu w tkance jest proporcjonalna do ciśnienia gazu w środowisku. Zatem w czasie zanurzania gaz przedostaje się do tkanek z powodu rosnącego ciśnienia, natomiast podczas wynurzania wytrąca się w naczyniach w postaci pęcherzyków. ChDUW jest spowodowana nagłym spadkiem ciśnienia w środowisku podczas wynurzania się lub po wynurzeniu z wody, a przez to obecnością pęcherzyków gazu w naczyniach UW, co prowadzi do przesycenia gazem płynów ustrojowych. Część przedsionkowa UW jest najbardziej narażona na uszkodzenia z powodu niekorzystnego stosunku masy tkanki do zaopatrujących ją naczyń, co wiąże się z długim okresem oczyszczania tego narządu [21]. Mechanizm tego schorzenia nie został w pełni wyjaśniony, ale sugeruje się, że może to być związane z kaskadą koagulacyjną wywołaną kontaktem gazu ze śródbłonkiem naczyń, co prowadzi do niedotlenienia tkanek. Możliwe jest też bezpośrednie uszkodzenie UW poprzez wytrącone pęcherzyki w peri- lub endolimfie. U osób z przetwiałym otworem w przegrodzie serca (ang. right to left cardiac shunt) może dojść do przedostawania się pęcherzyków z krążenia żylnego do tętnic, powodując zatory gazowe w tętnicach błędniaka.

W Oddziale Medycyny Hiperbarycznej Szpitala Fiona Stanley w Murdoch w Australii aż u 6 na 10 pacjentów leczonych z powodu ChDUW rozpoznano przetwiał otwór owalny [22]. Innymi czynnikami ryzyka ChDUW są: starszy wiek nurka, płeć żeńska oraz otyłość. ChDUW występuje też częściej u osób nurkujących po spożyciu alkoholu [19,20]. Objawy przedsionkowe są w ChDUW prawie trzykrotnie częstsze niż objawy związane z uszkodzeniem narządu ślimakowego. Manifestacją uszkodzenia narządu przedsionkowego są zawroty głowy (Vertigo) z towarzyszącym oczopląsem poziomym lub poziomo-obrotowym oraz nudności i wymioty. Niedosłuch czuciowo-nerwowy, któremu często towarzyszy szum uszu (ang. Tinnitus), jest objawem uszkodzenia części ślimakowej UW. Objawy ChDUW pojawiają się zwykle po wynurzeniu ze średnim czasem opóźnienia około 25 min [20]. W chorobie dekompresyjnej mogą pojawić się także objawy dysfunkcji narządów układu krążenia, ośrodkowego układu nerwowego, płuc, tkanki limfatycznej, układu mięśniowo-szkieletowego oraz skóry. Do ChDUW predysponują częste nurkowania w krótkich odstępach czasowych oraz wdychanie mieszanki tlenu z helem [20]. Postępowaniem z wyboru w ChDUW jest jak najszybsze umieszczenie chorego w tlenowej komorze hiperbarycznej.

Zarówno BTUW, jak i ChDUW mogą prowadzić do trwałego uszkodzenia narządu przedsionkowo-ślimakowego. Pomimo podobieństwa objawów, konieczna jest różna terapia dla każdej z tych chorób, dlatego po wystąpieniu pierwszych objawów należy natychmiast przeprowadzić diagnostykę różnicową (Tab. 2).

Objawy urazu ciśnieniowego mogą wystąpić podczas zanurzania, wynurzania się lub przebywania pod wodą, a także zaraz po wynurzeniu. Natomiast

Tab. 2. Differentiation between Inner Ear Barotrauma and Inner Ear Decompression Sickness

Tab. 2. Różnicowanie barotraumaty ucha wewnętrznego od choroby dekompresyjnej tego narządu

Squats / Przysiady	Before training / Przed treningiem	After training / Po treningu
Traditional squats / Przysiady tradycyjne	74.42 ±11.13	88.96 ±15.64
Squat with medicine ball / Przysiady z piłką lekarską	73.24 ±10.32	93.76* ±16.22
Squat with Gymstick / Przysiady z Gymstickiem	76.38 ±11.47	95.54* ±16.81

* p<0.05 – differences between traditional squats and squats with equipment

* p<0.05 – różnice między przysiadami tradycyjnymi i przysiadami z przyborem

compression sickness which does not entail that risk while diving at the depth not exceeding 10 m. In the case of MEB, conductive hypoacusis may develop due to bleeding to the tympanic membrane while in the case of IEDS, sensorineural hearing loss (SNHL) is usually noted [12,18-21,23].

Discussion / Summary

Pressure injuries and decompression sickness of the ear may be developed not only in professional divers who descend to large depths with a breathing apparatus. Due to the growing number of amateur divers, medical consultations related to diagnosing and treatment of ear injuries are increasingly often noted. Barotrauma is developed in spaces filled with gas when the pressure is not equated with the surrounding environment. This may lead not only to ear tissue damage, but also to damage of the nasal cavity, paranasal sinuses or even of pulp chamber damage. While the inner ear is most exposed to injuries in the case of decompression sickness, practically all organs may be damaged. Therefore, it is important to consider the risk factors of such diseases as auditory tube inefficiency. In case of any doubts, consultation with an otolaryngologist is necessary. Patients with leak in the heart should not be allowed to dive. If during immersion in water the Valsalva test turns out ineffective, a diver should not dive deeper. It is necessary to avoid sudden surfacing from high depths or airplane flights within 24 hours after diving with a breathing apparatus, due to the high risk of decompression sickness.

When the patient complains of rotational vertigo and hypoacusis, he/she should be referred to the oxygen hyperbaric chamber. Progressive sensorineural hearing loss (SNHL) in divers may indicate formation of the perilymphatic fistula due to barotrauma. Under such conditions surgical intervention is the treatment of choice.

objawy ChDUW pojawiają się najczęściej po wynurzeniu lub podczas szybkiego wynurzenia.

Objawy BTUŚ mogą pojawić się po wykonaniu manewru Valsalvy, w przeciwieństwie do ChDUW, która nie stwarza ryzyka przy nurkowaniu do 10 m głębokości. W przypadku BTUŚ może wystąpić niedosłuch przewodzeniowy spowodowany krwawieniem do jamy bębenkowej, podczas gdy przy ChDUW zazwyczaj obserwuje się niedosłuch czuciowo-nerwowy (SNHL) [12,18-21,23].

Dyskusja / Podsumowanie

Urazy ciśnieniowe i choroba dekompresyjna ucha mogą występować nie tylko u zawodowych nurków, którzy schodzą na duże głębokości z aparatem do oddychania. Z uwagi na coraz większą liczbę amatorów nurkowania, konsultacje lekarskie związane z diagnostyką i leczeniem urazów ucha odnotowuje się coraz częściej. Barotrauma dotyczy przestrzeni wypełnionych gazem, gdy nie dochodzi do wyrównania ciśnienia z otaczającym ją środowiskiem. Może to prowadzić nie tylko do uszkodzeń tkanek ucha, ale również jamy nosowej, zatok przynosowych czy nawet komory zęba. Chociaż UW jest najbardziej narażone na uraz w przypadku choroby dekompresyjnej, uszkodzenia mogą dotyczyć praktycznie wszystkich narządów. Dlatego ważne jest, aby brać pod uwagę czynniki zwiększające ryzyko zachorowania, takie jak niewydolność trąbki słuchowej. W razie wątpliwości należy skonsultować się z lekarzem otolaryngologiem. Osoby z przeciekiem w sercu nie powinny być dopuszczane do nurkowania. Jeżeli w czasie przebywania pod wodą próba Valsalvy jest nieskuteczna, nurek nie powinien zanurzać się głębiej. Należy unikać również gwałtownego wynurzania się z dużych głębokości oraz podróży samolotem w ciągu 24 godzin po nurkowaniu z aparatem do oddychania, ze względu na wysokie ryzyko choroby dekompresyjnej.

Jeśli po wynurzeniu chory będzie uskarżał się na wirowe zawroty głowy i niedosłuch, należy jak najszybciej skierować go do tlenowej komory hiperbarycznej. Postępujący niedosłuch czuciowo-nerwowy (SNHL) u nurka może świadczyć o powstaniu przetoki perilymfatycznej w wyniku barotraumaty. W przypadku takiej sytuacji postępowaniem z wyboru jest leczenie operacyjne.

References /Piśmiennictwo

1. Diving Equipment & Marketing Association. Otarte Dane [Internet] 2024 [Cited 02.Jun.2024] Available from: <https://www.dema.org/store/download.aspx?id=7811B097-8882-4707-A160-F999B49614B6>.
2. Azizi MH. Ear disorders in scuba divers. *Int J Occup Environ Med* 2011; 2(1): 20-6.
3. Łasiński W. Narząd przedsionkowo-ślimakowy. In: Bochenek M, Reicher M, (eds). *Anatomia człowieka*, Tom V. Warszawa: PZWL; 2023. p. 377-501.
4. St Leger Dowse M, Waterman MK, Jones R, Smerdon GR. Aural health awareness and incident prevention in UK scuba divers. *Diving Hyperb Med* 2022; 52(1): 22-6. doi: 10.28920/dhm52.1.22-26
5. Ghanpur AD, Nayak DR, Chawla K, et al. Comparison of Microbiological Flora in the External Auditory Canal of Normal Ear and an Ear with Acute Otitis Externa. *J Clin Diagn Res* 2017; 11(9): MC01-MC04.
6. Roland PS, Stroman DW. Microbiology of acute otitis externa. *Laryngoscope* 2002; 112: 1166-77.
7. Mustafa M, Patawari P, Sien MM, et al. Acute otitis externa: pathophysiology, clinical presentation, and treatment. *IOSR* 2015; 147: 3-8.
8. Rosenfeld RM, Schwartz SR, Cannon CR, et al. Clinical practice guideline: acute otitis externa. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2014; 150: 1-24.
9. Bhattacharyya N, Kepnes L. Initial impact of the acute otitis externa clinical practice guideline on clinical care. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2011; 145: 414-7.
10. Wiegand S, Berner R, Schneider A, et al. Otitis Externa. *Dtsch Arztebl Int* 2019; 116: 224-34.
11. Puttasiddaiah PM, Browning ST. Removal of external ear canal exostoses by piezo surgery: a novel technique. *J Laryngol Otol*. 2018; 132(9): 840-1. doi: 10.1017/S0022215118001263
12. O'Neill OJ, Brett K, Frank AJ. Middle Ear Barotrauma. 2023 Aug 8. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island(FL): StatPearls Publishing; 2024.
13. Barin K. Caloric Testing. In: Balance Function Assessment and Management. Jacobson GP, Shepard NT (eds). San Diego: Plural Publishing; 2021. p. 257-78.
14. Jones MW, Brett K, Han N, Cooper JS, Wyatt HA. Hyperbaric Physics 2024 Jan 31. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island(FL): StatPearls Publishing; 2024.
15. Francescon D, Jamal Z, Cooper JS. Alternobaric Vertigo. 2023 May 1. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
16. O'Neill OJ, Weitzner ED. The O'Neill. Grading system for evaluation of the tympanic membrane: A practical approach for clinical hyperbaric patients. *Undersea Hyperb Med* 2015; 42(3): 265-71.
17. Bal R, Deshmukh P. Management of Eustachian Tube Dysfunction: A Review. *Cureus* 2022; 14(11): e31432. doi: 10.7759/cureus.31432
18. Mallen JR, Roberts DS. SCUBA Medicine for otolaryngologists: Part I. Diving into SCUBA physiology and injury prevention. *Laryngoscope* 2020; 130(1): 52-8. doi: 10.1002/lary.27867
19. Scarpa A, Ralli M, De Luca P, et al. Inner Ear Disorders in SCUBA Divers: A Review. *J Int Adv Otol* 2021; 17(3): 260-4. doi: 10.5152/iao.2021.8892
20. Lindfors OH, Räisänen-Sokolowski AK, Hirvonen TP, Sinkkonen ST. Inner ear barotrauma and inner ear decompression sickness: a systematic review on differential diagnostics. *Diving Hyperb Med* 2021; 51(4): 328-37. doi: 10.28920/dhm51.4.328-337
21. Mitchell SJ, Doolette DJ. Pathophysiology of inner ear decompression sickness: potential role of the persistent foramen ovale. *Diving Hyperb Med* 2015; 45(2): 105-10.
22. Mason JS, Buzzacott P, Gawthrop IC, Banham ND. A retrospective review of divers treated for inner ear decompression sickness at Fiona Stanley Hospital hyperbaric medicine unit 2014-2020. *Diving Hyperb Med* 2023; 53(3): 243-50. doi: 10.28920/dhm53.3.243-250
23. Mallen JR, Roberts DS. SCUBA Medicine for Otolaryngologists: Part II. Diagnostic, Treatment, and Dive Fitness Recommendations. *Laryngoscope* 2020; 130(1): 59-64. doi: 10.1002/lary.27874