WOJSKOWY INSTYTUT HIGIENY I EPIDEMIOLOGII
im. Generała Karola Kaczkowskiego

Rozprawa doktorska

mjr (r) lek. Jarosław KIJEWSKI

Badania wpływu ekspozycji hiperbarycznej na stan ucha środkowego mierzonej za pomocą audiometrii impedancyjnej w nurkowaniach służbowych w zależności od technologii i warunków nurkowania

Promotor
kmdr por. (r) dr hab. med. Piotr SIERMONTOWSKI, prof. AMW
Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte w Gdyni

Kopromotor
dr hab. med. Wanda STANKIEWICZ-SZYMCZAK, prof. WIHE
Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii im. Gen. Karola Kaczkowskiego w Warszawie

Warszawa, 2022

Spis treści

Spis treści……...3
Spis skrótów używanych w pracy……..7
I. WSTĘP…….....8
I.1. Nurkowanie a ucho ludzkie……...13
I.1.1. Budowa anatomiczna i fizjologia ucha……...……13
I.1.2. Zmysł słuchu i równowagi pod wodą…….…17
I.2. Urazy i wypadki związane z nurkowaniem…….....17
I.2.1. Nurek u laryngologa……19
I.3. Problemy otologiczne („uszne") związane z nurkowaniem…….....20
I.3.1. Zapalenie przewodu słuchowego zewnętrznego……20
I.3.2. Zwężenia przewodu słuchowego zewnętrznego…….21
I.3.3. Alternobaric vertigo……22
I.4. Uraz ciśnieniowy – barotrauma…….24
I.4.1. Uraz ciśnieniowy ucha……...25
I.4.1.1. Barotrauma przewodu słuchowego zewnętrznego…….....27
I.4.1.2. Barotrauma ucha wewnętrznego……...28
I.4.1.3. Barotrauma ucha środkowego……...32
I.4.2. Zapobieganie powstaniu urazu ciśnieniowego ucha…….....39
I.5. Audiometria impedancyjna……..……..41
I.5.1. Tympanometria……..…….43
I.5.2. Odruch z mięśnia strzemiączkowego……..45
I.5.3. Badanie drożności trąbek słuchowych……46
II. CEL PRACY.....50
III. MATERIAŁ…….……51
IV. METODY……...….....……57
V. WYNIKI ……62
V.1. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej- analiza porównawcza……62
V.1.1. Analiza porównawcza wyników pomiarów tympanometrycznych grupy badanej do grupy kontrolnej……...……63
V.1.2. Analiza porównawcza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup……67

V.2. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od doświadczenia nurkowego……..……..……72
V.2.1. Analiza wpływu doświadczenia nurkowego na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup nurków (B-nurkowie)……..…72
V.2.1.1. Grupa nurków początkujących (staż nurkowy do 2 lat-B-POCZ).....73
V.2.1.2. Grupa nurków średnio doświadczonych (staż nurkowy od 2 do 5 lat-B-ŚRDOŚ)……75
V.2.1.3. Grupa nurków doświadczonych (staż nurkowy od 5 do 8 lat-B-DOŚ)…….78
V.2.1.4. Grupa nurków bardzo doświadczonych (staż nurkowy powyżej 8 lat-B-BDOŚ)…….…….79
V.2.2. Analiza wpływu doświadczenia nurkowego na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego)…….79
V.2.3. Analiza wartości średnich zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup doświadczenia nurkowego……...……...80
V.3. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od wieku badanych……..80
V.3.1. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup wiekowych nurków (B)…….81
V.3.1.1. Grupa nurków należąca do III dekady życia…….……..81
V.3.1.2. Grupa nurków należąca do przedziału III i IV dekady życia.....83
V.3.1.3. Grupa nurków powyżej IV dekady życia……...……85
V.3.2. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup wiekowych osób bez doświadczenia nurkowego (K)……86
V.3.2.1. Grupa kontrolna należąca do III dekady życia……86
V.3.2.2. Grupa kontrolna należąca do przedziału III i IV dekady życia…...…87
V.3.3. Analiza wartości średnich zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup Wiekowych…….……87
V.4. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od warunków nurkowania……..……88

V.4.1. Analiza wyników tympanometrii w każdej z grup badawczych w zależności od warunków nurkowania……..……88
V.4.2. Analiza wpływu warunków nurkowania na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup badawczych……..…89
V.4.2.1. Warunki nurkowania: woda (H_2O)……...……89
V.4.2.2. Warunki nurkowania: komora hiperbaryczna (KOM)……90
V.5. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od technologii nurkowania……..……92
V.5.1. Analiza wpływu technologii nurkowania (czynnika oddechowego) na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup badawczych……..……93
V.5.1.1. Czynnik oddechowy: powietrze (POW)……..……93
V.5.1.2. Czynnik oddechowy: tlen (O_2)……96
V.5.1.3. Czynnik oddechowy: mieszanina (MIESZ)……98
V.6. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od dolegliwości zgłaszanych przez badanych w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu)…...……99
V.6.1. Analiza korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z dolegliwościami zgłaszanymi po nurkowaniu (sprężaniu)……101
V.6.2. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych w zależności od dolegliwości zgłaszanych (DOL) przez badanych każdej z grup w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu)……101
V.6.2.1. Analiza pomiarów zmiennej MEP (ciśnienie ucha środkowego) w zależności od zgłaszanych przez badanych dolegliwości…...……102
V.6.2.2. Analiza pomiarów zmiennej COM (podatność ucha środkowego) w zależności od zgłaszanych dolegliwości przez badanych…...……104
V.6.3. Analiza wpływu zgłaszanych dolegliwości na wartości średnie zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup……105
V.7. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od wywiadu laryngologicznego (ORL)……106
V.7.1. Analiza korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z wywiadem laryngologicznym (ORL)……107
V.7.2. Analiza wpływu wywiadu laryngologicznego (ORL) na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup...108

V.7.2.1. Analiza wpływu wywiadu ORL na zmienną MEP (ciśnienie ucha środkowego)……...……108
V.7.2.2. Analiza wpływu wywiadu ORL na zmienną COM (podatność ucha środkowego)……...……111
V.7.3. Analiza wpływu wywiadu ORL na wartości średnie zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup…….……115
VI. DYSKUSJA……....……118
VII. WNIOSKI……..……131
Spis rycin……132
Spis tabel……136
Załączniki…...……142
Streszczenie……...……149
Abstract……..……151
VIII. PIŚMIENNICTWO……153

Spis ważniejszych skrótów używanych w pracy

ATA – atmosfera absolutna (ang. *atmosphere absolute*)

AV- zawroty głowy u nurkujących (ang. *alternobaric vertigo*)

B- grupa badana- nurkowie

COM P i L- podatność ucha środkowego (ang. *compilance*) prawego i lewego

COM PRZED i PO- podatność ucha środkowego przed i po nurkowaniu (sprężaniu)

CPG- Wytyczne Praktyki Klinicznej (ang. *Clinical Practice Guideline*)

DAN- Alarmowa Sieć dla Nurków (ang. *Divers Alert Network*)

daPa- dekapascal

dB- decybel

DCS- choroba dekompresyjna (ang. *decompression sickness*)

DGKN-120- Doświadczalny Głębokowodny Kompleks Nurkowy

ECHM- Europejskie Towarzystwo Medycyny Hiperbarycznej (ang. *European Committee of Hyperbaric Medicine*)

ETF-test- test drożności trąbki słuchowej (ang. *Eustachian Tube Function Test*)

GDO- górne drogi oddechowe

HBO- tlen hiperbaryczny (ang. *hyperbaric oxygen*)

K- grupa kontrolna- osoby bez doświadczenia nurkowego

KTPP AMW- Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej

MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego (ang. *middle ear pressure*) prawego i lewego

MEP PRZED i PO- ciśnienie ucha środkowego przed i po nurkowaniu (sprężaniu)

mH_2O- metr słupa wody

mmHg- milimetr słupa rtęci

MRI- rezonans magnetyczny (ang. *magnetic resonance imaging*)

NSAIDs- niesterydowe leki przeciwzapalne (ang. *Non-steroidal anti-inflammatory drugs*)

OE- zapalenie ucha zewnętrznego (łac. *otitis externa*)

ORL- otorynolaryngologia

OSNiP WP- Ośrodek Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego

TK- tomografia komputerowa

UL- ucho lewe

UP- ucho prawe

VNG- wideonystagmografia

I.WSTĘP

Nurkowanie towarzyszy człowiekowi praktycznie od początku istnienia gatunku. Przebywanie pod wodą, czyli w nietypowym ewolucyjnie środowisku dla człowieka, wymusiły w pierwszej kolejności potrzeby zdobywania pożywienia i chęć poznania innego świata. Wraz z postępującym rozwojem technologicznym ludzkości, nurkowanie zaczęto wykorzystywać w innych celach. Nie można jednoznacznie stwierdzić kiedy dokonano pierwszego udokumentowanego, kontrolowanego zanurzenia. Jednym z najstarszych dokumentów opisujących zejście człowieka pod wodę jest asyryjska płaskorzeźba z 885 roku p.n.e., która przedstawia mężczyznę uzbrojonego i oddychającego z czegoś na wzór dzisiejszego worka oddechowego. W 332 p.n.e. Arystoteles opisywał pierwsze próby militarnego wykorzystania schodzenia pod wodę w dzwonie nurkowym przez Aleksandra Wielkiego podczas oblężenia Tyru. Przypuszcza się, że jeszcze w I wieku p.n.e. poławiacze pereł i gąbek osiągali 30 m głębokości przebywając 2 minuty pod wodą [1]. W 77 r. n.e. pojawiają się w Cesarstwie Rzymskim pierwsze opisy przebywania pod wodą i oddychania powietrzem atmosferycznym za pomocą prowizorycznej maski i rurki nurkowej. Metoda ta umożliwiała tylko płytkie, maksymalnie do 2 m głębokości nurkowania, gdyż ciśnienie działające na płuca na takiej głębokości jest tak duże, że uniemożliwia mięśniom oddechowym rozprężenie klatki piersiowej i wykonania wdechu. Dopiero w 1500 r. powstały pierwsze projekty systemów oddychania i kombinezonów nurkowych Leonarda da Vinci, które prawdopodobnie służyć miały celom militarnym. Bardzo ważnym wydarzeniem dla rozwoju nurkowania w aparatach oddechowych było opublikowanie w 1680r. dzieła włoskiego matematyka i fizyka, Giovanniego Borelliego, który przedstawił rewolucyjne na tamte czasy projekty aparatów nurkowych, połączonych z workami powietrznymi o zmiennej objętości. Tym samym stał się twórcą idei ponownego oddychania powietrzem wydychanym, która jest wykorzystywana do dzisiaj w aparatach oddechowych o obiegu zamkniętym [1-3].

Ryc. 1.1. Projekt aparatu nurkowego autorstwa G. Borelliego [1]

Oficjalne zaprezentowanie stroju (kombinezonu) nurkowego miało miejsce w Londynie w 1837r. Projekt opatentował niemiecki naukowiec August Siebe. Dzięki zastosowanej koncepcji kombinezonu nurkowego wraz z zamkniętym hełem, która pozwoliła na wykonywanie swobodnych ruchów pod wodą, konstrukcja Siebe zyskała dużą popularność, a jej twórca został obwołany Ojcem nurkowania.

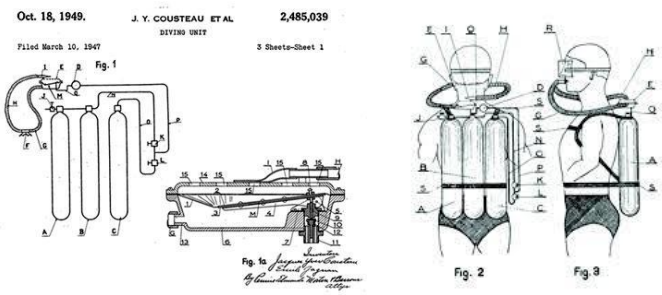
Ryc. 1.2. Zamknięty hełm nurkowy konstrukcji Siebego [1].

W 1865 r., prawie 30 lat po sukcesie Siebe'go, dwaj Francuzi- Benoit Rouquayrol i Auguste Denayrouse, przedstawili kolejne nowatorskie w historii nurkowania urządzenie, które nazwali Aerophore. Przełomowym rozwiązaniem w tym projekcie było zastosowanie stalowej butli do której było tłoczone sprężone powietrze (zamiast bezpośrednio do hełmu) i którą nurek zabierał pod wodę. Na podobnej zasadzie działają współczesne akwalungi, z małą różnicą, że butla nie musi być zasilana sprężony powietrzem z powierzchni.

Ryc. 1.3. „Aerophore" Rouquayrola i Denayrouse [1].

Przełom XIX i XX wieku to okres dalszego usprawniania systemów nurkowych, co pozwalało na wykonywanie prac nurkowych na coraz większych głębokościach. Rewolucja w nurkowaniu nastąpiła w 1942 roku, kiedy to oficerowie marynarki francuskiej Dumas i Cousteau wraz z inżynierem Mauricem Gagnan zaprojektowali pierwszy akwalung – urządzenie pozwalające na oddychanie pod wodą z umieszczonej na plecach butli ze sprężonym powietrzem. Innowacją w przedstawionym projekcie był automat oddechowy, który dostarczał powietrze bezpośrednio do ust nurka pod ciśnieniem odpowiadającym ciśnieniu otaczającej wody. W 1943 r. nowy wynalazek przeszedł pomyślnie testy w wodach rzeki Marny oraz w morzu w okolicach Bandol na Lazurowym Wybrzeżu.

Oficjalnie Aqua-Lung („wodne płuca") został dopuszczony do sprzedaży we Francji w 1946r. i w krótkim czasie spopularyzował nurkowanie na całym świecie. Swoim wynalazkiem Cousteau i Gagnan otworzyli wrota podwodnego świata, nie tylko dla nauki i profesjonalnych zastosowań, ale także dla zwykłej ludzkiej chęci poznania i odkrywania [1, 2, 4].



Ryc. 1.4. Zestaw nurkowy opatentowany przez Cousteau i Gagnana w 1949r.

Źródło: https://us.aqualung.com.

Wraz z powstaniem nowych technologii umożliwiających nurkowanie na coraz większych głębokościach obserwowano i opisywano „dziwne objawy" występujące u nurków. Zaobserwowano, że po długich i głębokich nurkowaniach, nurkowie na powierzchni zgłaszają bóle kończyn i stawów przypominające reumatyzm, na skórze pojawia się plamista swędząca wysypka, czasem występują drgawki, porażenia kończyn. Objawy zmniejszają się i ustępują podczas zanurzania. Tak powstały pierwsze opisy choroby dekompresyjnej i wpływu działania powietrza o podwyższonym ciśnieniu na organizm ludzki .

Wraz z dynamicznym rozwojem nurkowania w XIX i XX wieku pojawiają się stopniowo doniesienia, już nie tylko o przypadkach choroby dekompresyjnej (kesonowej), opisanej jeszcze w XIX wieku nie u nurków lecz pracowników kesonowych [5, 6], ale także o urazach ciśnieniowych (tzw. barotraumach) uszu, zatok, płuc, zaburzeń neurologicznych, zatruć tlenem. Stopniowo przyczyniało się to do powstania w medycynie nowej dziedziny określanej jako „medycyna nurkowa", która to w szerokim pojęciu zajmuje się zagadnieniami medycznymi związanymi z nurkowaniem i działaniem podwyższonego ciśnienia na organizm ludzki. Zdobyte doświadczenia z medycyny nurkowej, dają wkrótce podwaliny do powstania nowej gałęzi medycyny, która oprócz badania wpływu ciśnienia wyższego niż atmosferyczne na organizm człowieka, zajmuje się wykorzystaniem biologicznego efektu działania podwyższonego ciśnienia w celach terapeutycznych wielu ostrych i przewlekłych schorzeń. Ta nowa i młoda dyscyplina medyczna nazywana jest medycyną hiperbaryczną, lub potocznie, hiperbarią [7].

Współcześnie w terapii hiperbarycznej najczęściej wykorzystywanym gazem w celach leczniczych jest 100% tlen (stąd nazwa –terapia tlenem hiperbarycznym--ang. *hyperbaric oxygen*- HBO), który jest podawany do oddychania w warunkach podwyższonego ciśnienia (zazwyczaj 2-3 ATA), wytwarzanego w specjalnie skonstruowanych do tego celu, pomieszczeniach, zwanych komorami hiperbarycznymi. Tlenoterapia hiperbaryczna szybko znalazła szerokie zastosowanie kliniczne w leczeniu wielu schorzeń będących w sferze zainteresowania wielu specjalizacji medycznych. Lista wskazań do stosowania HBO została określona w 2013 przez Europejskie Towarzystwo Medycyny Hiperbarycznej (ang. *European Committee of Hyperbaric Medicine*- ECHM) i obejmuje leczenie m.in.: choroby dekompresyjnej, zatorowości gazowej, zatrucia tlenkiem węgla, zgorzeli gazowej, martwiczych zakażeń tkanek miękkich szczególnie bakteriami beztlenowymi, oparzeń termicznych oraz urazów wielonarządowych [8].

Leczenie tlenem hiperbarycznym ma również zastosowanie terapeutyczne w jednostkach chorobowych o podłożu „otolaryngologicznym", takich jak: nagły niedosłuch czuciowo-nerwowy (potocznie nazywany nagłą głuchotą), martwicze (złośliwe) zapalenie przewodu słuchowego zewnętrznego, radionekroza krtani, zmiany popromienne tkanek miękkich twarzy i szyi, trudno gojące się rany pooperacyjne itp. [9-14].

Obecnie w systemie leczniczym w Polsce, terapia HBO schorzeń z listy wskazań ECHM jest traktowana jako odrębnie kontraktowane świadczenie medyczne i w całości refundowane przez Narodowy Fundusz Zdrowia [15].

Stosowanie HBO, podobnie jak każda inna procedura medyczna, wiąże się z możliwością wystąpienia powikłań związanych z urazem ciśnieniowym, jak i toksycznością tlenu. Uraz ciśnieniowy, który stwierdza się podczas terapii HBO najczęściej dotyczy ucha środkowego i zatok przynosowych, a w bardzo rzadkich przypadkach, płuc [16-22]. Działanie toksyczne tlenu związane jest głównie z wpływem na układ oddechowy i centralny układ nerwowy.

Bezpieczeństwo leczenia HBO zależy również od wielu warunków technicznych w jakich prowadzona jest terapia tlenem hiperbarycznym (m.in. rodzaj komory, ciśnienie, warunki sprężania itp.). Najpoważniejszym technicznym powikłaniem terapii HBO jest pożar w komorze hiperbarycznej, powstający na skutek zapłonu silnie skoncentrowanego tlenu. W celu ograniczenia i zminimalizowania ryzyka pożaru we współczesnych komorach hiperbarycznych, podczas sesji leczenia, skoncentrowany tlen jest doprowadzany do dróg oddechowych pacjenta poprzez specjalną szczelną maskę lub hełm, co umożliwia bezpieczne i efektywne wdychanie czystego tlenu.

Z uwagi na opisane wyżej zagrożenia i powikłania terapii HBO, leczenie w komorach hiperbarycznych powinno być prowadzone pod nadzorem doświadczonego i przeszkolonego personelu medyczno-technicznego, przestrzegającego ściśle procedur medycznych leczenia tlenem hiperbarycznym, z jednoczesnym zachowaniem wszystkich zasad bezpieczeństwa przebywania i sprężania w komorze.

Wykorzystanie techniki hiperbarycznej nie ogranicza się tylko do zastosowań w medycynie. Wyspecjalizowane komory hiperbaryczne znalazły m.in. zastosowanie w realizacji badań z zakresu inżynierii podwodnej, techniki nurkowej oraz technologii nurkowych prac podwodnych. Jednym z wiodących w Polsce ośrodków naukowo-badawczych zajmujących się powyższą problematyką jest Katedra Technologii Prac Podwodnych AMW w Gdyni, która w oparciu o własne zaplecze medyczne oraz nurkową

bazę techniczną Marynarki Wojennej prowadzi działalność badawczą, dydaktyczną i szkoleniową [23].

Obecnie w systemie szkolnictwa kadr medycznych w Polsce nie ma wyodrębnionego szkolenia i specjalizacji z medycyny nurkowej i hiperbarycznej. Szeroki zakres wiedzy z tej dziedziny znajdował się w programie specjalizacji ,,Medycyna Morska i Tropikalna" oraz obecnie w programie specjalizacji ,,Medycyna Transportu" [24]. Jednak ze względu na charakter i częstość potencjalnych urazów, które mogą wystąpić podczas nurkowania, a także przy innych okazjach, wydaje się zasadnym, aby lekarze innych specjalności medycznych, byli przeszkoleni i posiadali podstawowy zakres wiedzy dotyczący tego zagadnienia. Sugestie takie kierowane do Ministerstwa Zdrowia, zarówno przez specjalistyczne Towarzystwo Lekarskie jak i przez Konwent Prezesów Polskich Towarzystw Lekarskich, nie zostały jak dotąd uwzględnione.

W przeszłości zagadnienia medycyny nurkowej i hiperbarycznej oraz leczenia hiperbarycznego były szeroko omawiane i włączone do programu ramowego studiów nieistniejącej już Wojskowej Akademii Medycznej w Łodzi. Obecnie po likwidacji w 2003 r. tej jedynej uczelni, która kształciła dla potrzeb wojska lekarzy, w systemie szkolnictwa kadr medycznych w żadnym ośrodku akademickim w Polsce nie odbywają się tego typu zajęcia, obejmujące szeroko rozumianą problematykę medycyny nurkowej.

I.1. Nurkowanie a ucho ludzkie

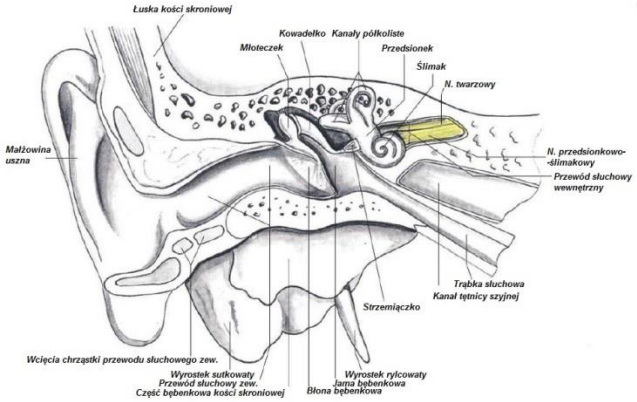
I.1.1. Budowa anatomiczna i fizjologia ucha

Ucho umożliwia człowiekowi odbiór fal akustycznych ze środowiska zewnętrznego oraz określenie położenia ciała w przestrzeni. Anatomicznie określane jest jako narząd przedsionkowo-ślimakowy, który obejmuje dwie struktury:

1) narząd ślimakowy- stanowi właściwy narząd słuchu,
2) narząd przedsionkowy- czynnościowo związany z równowagą.

Narząd przedsionkowo-ślimakowy (ucho) składa się z trzech części: ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego.

Ucho zewnętrzne i środkowe przewodzą fale dźwiękowe i należą całkowicie do narządu słuchu. Natomiast ucho wewnętrzne, nazywane również błędnikiem, zawiera skupiska komórek zmysłowych zarówno dla narządu przedsionkowego jak i ślimakowego [25, 26].



Ryc. 1.5. Zarys prawego ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego w przekroju [25].

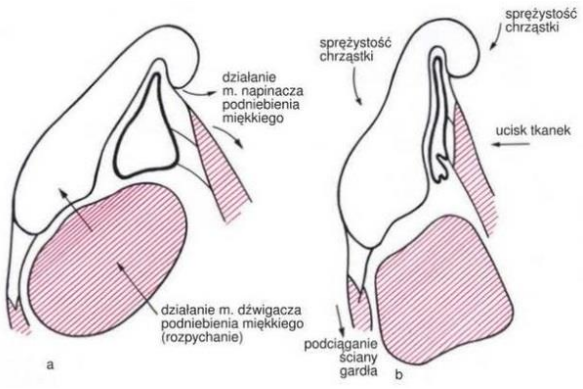
Ucho zewnętrzne zlokalizowane jest na bocznej powierzchni głowy, rozpoczyna się małżowiną uszną, zbudowaną z pofałdowanej chrząstki sprężystej pokrytej skórą, zbiera ona fale dźwiękowe ze środowiska zewnętrznego. Małżowina przechodzi w chrzęstną część przewodu słuchowego zewnętrznego, pokrytego skórą, zawierającą gruczoły łojowe, produkujące woskowinę. W 2/3 swojej długości ucho zewnętrzne przebiega w kości skroniowej tworząc tzw. część kostną przewodu słuchowego, który oddziela od ucha środkowego owalna błona bębenkowa, zbudowana z okrężnych i promienistych włókien tkanki łącznej. Taka łącznotkankowa budowa zapewnia, fizjologicznie cienkiej błonie bębenkowej (grubość do 0,1 mm) dużą wytrzymałość- przy jednocześnie małej sprężystości, na działanie fal dźwiękowych.

Ucho środkowe to niewielka przestrzeń w kości skroniowej wypełniona powietrzem. Zbudowane jest z jamy bębenkowej, jamy sutkowej z komórkami sutkowymi, kosteczek słuchowych (młoteczek, kowadełko, strzemiączko) i trąbki słuchowej.

Trąbka słuchowa, zwana również inaczej trąbką Eustachiusza, jest przewodem o długości około 35-40 mm, łączącym jamę bębenkową (wąskie ujście bębenkowe) z nosogardłem (szerokie ujście gardłowe). W zależności od budowy anatomicznej ścian w trąbce słuchowej wyróżniamy: krótszą boczną część kostną (ok. 1/3 długości całej trąbki) oraz dłuższą, przyśrodkową część chrzęstną (ok. 2/3 długości trąbki).
Na granicy obu części światło trąbki ulega fizjologicznemu zwężeniu, tworząc tzw. cieśń.
Część kostna trąbki słuchowej, z uwagi na budowę anatomiczną jest stale otwarta i nie zmienia swojego kształtu. Natomiast szczelinowata część chrzestna, w znacznej części swojego przebiegu, jest na ogół zamknięta. Zamknięte światło chrzęstnej części trąbki słuchowej otwiera się podczas fizjologicznego aktu przełykania i następowego skurczu przyczepionych do chrząstki trąbki mięśni podniebienia miękkiego (m.in. napinacza

podniebienia miękkiego). W ten sposób dochodzi do prawidłowej wentylacji jamy bębenkowej i utrzymania prawidłowego ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej.

Fizjologiczna funkcja trąbki słuchowej ma istotne znaczenie dla prawidłowej czynności ucha środkowego. Jeżeli trąbka słuchowa staje się niedrożna np. wskutek obrzęku błony śluzowej ujścia gardłowego w nosogardle, to powstaje znaczna różnica ciśnień między jamą bębenkową a środowiskiem zewnętrznym, w wyniku czego dochodzi m.in. do zaburzeń drgań błony bębenkowej z następowym pogorszeniem słuchu i powstaniem ostrych i przewlekłe schorzeń ucha środkowego.



Ryc. 1.6. Mechanizm działania trąbki słuchowej wg Zöllnera: a- rozwieranie ; b- zwieranie [25].

Fala dźwiękowa po przejściu przez ucho zewnętrzne, powoduje drgania błony bębenkowej, przenoszone przez łańcuch kosteczek słuchowych do ucha wewnętrznego, zwanego z powodu zawiłej budowy przestrzennej, błędnikiem.

Ucho wewnętrzne zlokalizowane jest podobnie jak ucho środkowe, w kości skroniowej. Błędnik składa się z łącznotkankowych i kostnych przewodów wypełnionych płynem. Ze względu na charakter budowy wyróżnia się błędnik błoniasty i błędnik kostny. Błędnik kostny wypełniony jest płynem zwany przychłonką, w której zawieszony jest łącznotkankowy błędnik błoniasty wypełniony śródchłonką.

W skład błędnika kostnego wchodzi: przedsionek, ślimak oraz trzy kanały półkoliste--przedni, tylny i boczny. Struktury błędnika kostnego, wypełnione przychłonką, otaczają błędnik błoniasty odtwarzając w dużej części jego kształt [25].

Błędnik błoniasty jest znacznie mniejszy od kostnego, w skład jego budowy wchodzą: przewód ślimakowy, trzy przewody półkoliste oraz znajdujące się w przedsionku, woreczek i łagiewka.

Przewód ślimakowy wysłany jest nabłonkiem zmysłowym, który tworzy narząd spiralny, nazywany także narządem Cortiego. Unerwiony jest przez część ślimakową nerwu przedsionkowo-ślimakowego i tworzy dla narządu słuchu właściwą część receptorową. Fala dźwiękowa powoduje drgania błony bębenkowej, które poprzez łańcuch kosteczek przekazywane są na ucho wewnętrzne powodując przemieszczanie się płynów (przychłonki i śródchłonki) wewnątrz ucha wewnętrznego. Drgania śródchłonki w przewodzie ślimakowym przenoszone są następnie na narząd spiralny (Cortiego) powodując pobudzenie komórek słuchowych (włoskowatych), które przekazywane jest poprzez nerw przedsionkowo-ślimakowy do wyższych pięter tzw. drogi słuchowej układu nerwowego.

Przewody półkoliste, które znajdują się w kanałach półkolistych błędnika kostnego, wypełnione są śródchłonką. W trakcie ruchu obrotowego głowy (równowaga kinetyczna) śródchłonka powoduje przemieszczanie się galaretowatego tworu, zwanego osklepkiem zlokalizowanego w grzebieniach bańkowych przewodów półkolistych, co wywołuje podrażnienie włosków nabłonka nerwowego, które przekazywane jest do ośrodkowego układu nerwowego.

Za utrzymanie postawy ciała (równowaga statyczna) odpowiadają zlokalizowane w przedsionku, woreczek i łagiewka. Nabłonek zmysłowy woreczka i łagiewki tzw. plamka, pokryty jest błoną kamyczkową do której dochodzą włoski komórek nabłonka nerwowego. W błonie znajdują się liczne kamyczki błędnikowe (tzw. statolity), zbudowane z węglanu i fosforanu wapnia.

Na skutek zmiany położenia ciała, kamyczki błędnikowe pociągają lub wywierają ucisk na włoski w nabłonku zmysłowym. Wywołuje to podrażnienia włosków i pobudzenie części przedsionkowej nerwu przedsionkowo-ślimakowego, który przekazuje informację do ośrodkowego układu nerwowego o położeniu ciała w przestrzeni. Ze względu na położenie plamki (nabłonka zmysłowego), tj. poziome w łagiewce i pionowe w woreczku, plamka łagiewki pobudzana jest przy odchyleniach głowy do przodu i tyłu, a woreczek przy odchyleniach głowy na boki.

Narząd przedsionkowy zlokalizowany w uchu wewnętrznym, to tzw. obwodowa część skomplikowanego układu równowagi, który poza błędnikiem obejmuje jądra przedsionkowe, móżdżek, pień i kora mózgu, narząd wzroku oraz receptory czucia głębokiego zlokalizowane w ścięgnach, więzadłach, mięśniach i stawach. Zmiany chorobowe powodujące dysfunkcje w obrębie tych narządów mogą objawiać się uczuciem niestabilności, zaburzeniami orientacji w przestrzeni, nudnościami, wymiotami,

oczopląsem oraz zawrotami głowy. W sytuacji nagłej dysfunkcji czynności przedsionka, (tzw. „szok przedsionkowy"), objawy kliniczne zaburzeń równowagi są bardzo nasilone, wymagające zazwyczaj leczenia w warunkach szpitalnych.

I.1.2. Zmysł słuchu i równowagi pod wodą

Świat podwodny nie jest obecnie naturalny środowiskiem do życia i funkcjonowania dla człowieka. Narządy zmysłów, w tym m.in. słuch, są przystosowane do odbierania bodźców (fal dźwiękowych) głównie ze środowiska powietrznego.
Średnia prędkość rozchodzenia się dźwięku w wodzie jest ok. 5 razy większa niż w powietrzu. Dodatkowo dźwięki powstające pod wodą mogą pokonywać duże odległości, a co za tym idzie, być dobrze słyszalne przez nurków. Takie warunki powodują, że przebywający pod wodą mają problemy z lokalizacją i interpretacją docierających dźwięków. Utrudnione jest też porozumiewanie się nurkujących za pomocą komend głosowych, które pod powierzchnią wody są w większości niezrozumiałe [1, 27].

Jak wcześniej wspomniano ucho ludzkie jest także narządem zmysłu równowagi (tzw. narząd przedsionkowy), który umożliwia człowiekowi orientację w przestrzeni, zachowanie odpowiedniej postawy ciała i prawidłowej równowagi. Przebywanie pod wodą, zwłaszcza przy gwałtownych zmianach temperatury, może powodować zawroty głowy i zaburzenia orientacji w przestrzeni, a w najgorszym przypadku (przy np. niedrożności trąbki słuchowej) z następowym uszkodzeniem błony bębenkowej i zalaniem ucha środkowego wodą), nagłą dysfunkcję układu równowagi. Nasilone zaburzenia przedsionkowe pod wodą, w postaci zawrotów głowy, oczopląsu, nudności i wymiotów z utratą orientacji góra– dół, stwarzać mogą śmiertelne niebezpieczeństwo dla nurkujących, które w przypadku braku odpowiedniego wyszkolenia może zakończyć się utonięciem.

I.2. Urazy i wypadki związane z nurkowaniem

We współczesnym świecie prawie każdy zdrowy człowiek, wyposażony w odpowiedni sprzęt może uprawiać nurkowanie, które z niemal elitarnego zawodu i sportu stało się sposobem na rekreacyjne spędzanie czasu przez miliony ludzi. Przyjmuje się, że ponad 15 milionów ludzi czynnie zajmuje się nurkowaniem, wykonując

szacunkowo rocznie około 250 milionów nurkowań. Rocznie około 250 tys. nowych nurków uzyskuje licencję [28]. W samych tylko Stanach Zjednoczonych szkoli się rocznie około 100 tys. nowych kandydatów na płetwonurków-amatorów, a w 2015 r. było zarejestrowanych ponad 9 milionów licencjonowanych nurków rekreacyjnych zrzeszonych w różnych federacjach [29].

Obserwowany ogólnoświatowy trend wzrostu liczby nurkujących przekłada się na zwiększenie liczby wypadków i urazów związanych z nurkowaniem.

Według statystyk nurkowych DAN (ang. *Divers Alert Network*) w latach 2014-2016 r. liczba zgłoszonych urazów i wypadków nurkowych utrzymuję się na poziomie ok. 10000/rocznie [30]. Według danych DAN z 2011 w ciągu roku w wyniku nurkowania umiera ok. 16-17 nurków amatorów i mniej niż 4 nurków zawodowych [31, 32]. Ponieważ jednak DAN jest organizacją komercyjną i prowadzi działalność ubezpieczeniową, podawane przez nią dane statystyczne mogą być dyskusyjne.

Statystycznie liczba urazów związanych z nurkowaniem jest niższa niż w innych sportach. Wśród nich, ponad 50% zgłaszanych i rejestrowanych, to urazy ciśnieniowe tzw. barotraumy, które w ok. 80% dotyczą uszu i zatok, a w dalszej kolejności płuc (ok. 5%), twarzy i oka (tzw. z ang. *mask squeez*- ok. 2%), zębów, skóry, żołądka i jelit [30].

Naukowcy zajmujący się wypadkami nurkowymi obserwują niepokojące zjawisko, że wraz ze wzrostem popularności i dostępności nurkowania wielu adeptów kursów nurkowych dla amatorów nie zdaje sobie sprawy z realnych zagrożeń dla zdrowia wynikających z nieprzestrzegania podstawowych zasad nurkowania, uważając, że nic im nie grozi, ponieważ nurkują w płytkich wodach.

Wskazuje to na brak elementarnej wiedzy z zakresu fizjopatologii nurkowania, która powinna być przekazana i egzekwowana przez instruktorów podczas organizowanych, niestety, zazwyczaj „na szybko" i za krótko trwających kursów nurkowych.

W niektórych federacjach nurkowych pomijanie kwestii wypadków i chorób podczas szkolenia jest elementem zaplanowanym i ma na celu zmniejszenie odpływu kursantów - -płatników, którzy mogli by nie kontynuować szkolenia ze względu na zagrożenia zdrowotne.

I.2.1. Nurek u laryngologa

Jak wcześniej wspomniano wraz z dynamicznym rozwojem popularności nurkowania na świecie, wzrosła ilość zgłaszanych dolegliwości związanych z uprawianiem tego sportu i zawodu. Ponad 80% problemów zdrowotnych nurkujących dotyczy regionu głowy i szyi, w tym w ok. 65% stanowią schorzenia ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego [29].

Potwierdzają to liczne badania i doniesienia naukowe. Gonnermann i wsp. [33] przeprowadzili ankietę, która dotyczyła chorób laryngologicznych wśród 429 doświadczonych nurków. Najczęstszym zgłaszanym problem zdrowotnym było zapalenie ucha zewnętrznego (43,6%), następnie w dalszej kolejności uraz ciśnieniowy zatok (10,9%), zawroty głowy typu *alternobaric vertigo* (9,0%) i uraz ciśnieniowy ucha środkowego (8,7%). Barotrauma ucha zewnętrznego, wewnętrznego i choroba dekompresyjna - postać przedsionkowa, stanowiła rzadkość, wg. ankietowany łącznie ok. 3,4%. Dużą grupę nurków pod kątem zachorowalności na choroby laryngologiczne przebadał również Roydhause [34] . Wśród 650 doświadczonych nurków rekreacyjnych dominowały objawy chorobowe związane z uchem zewnętrznym, środkowym i wewnętrznym, (ok. 65%), zaskakująco dużo było zgłaszanych urazów i dolegliwości związanych z zębami, żuchwą, mięśniami żwaczami i stawem skroniowo - żuchwowym. Zaburzenia nosa i zatok w badanej grupie stanowiły łącznie 9,7 % przypadków.

Bardzo ciekawe badania, z punktu widzenia klinicznego, przedstawił Klingmann i wsp. [35]. Autorzy ci poddali analizie grupę 306 nurków, którzy byli leczeni w Oddziale Otolaryngologii z powodu dolegliwości laryngologicznych po nurkowaniu lub po wypadkach nurkowych. W badanej grupie 24 nurków (8%) było hospitalizowanych z powodu zaburzeń ucha zewnętrznego, 140 nurków (46%) z zaburzeniami ucha środkowego, 56 nurków (18%) z zaburzeniami ucha zewnętrznego, 53 nurków (17%) z zaburzeniami ze strony nosa i zatok i 24 nurków (8%) z objawami choroby dekompresyjnej. Tylko 18% hospitalizowanych nurków wymagało przyjęcia na oddział w trybie pilnym. Największą grupę leczonych stanowili nurkowie z dysfunkcją trąbki słuchowej ok. 24%, która leczona była, z dobrymi rezultatami, zachowawczo. W przypadkach urazu ciśnieniowego, długotrwałych zaburzeń wentylacji ucha środkowego, w wyniku których dochodziło do uszkodzenia błony bębenkowej i kosteczek słuchowych, wymagane było leczenie operacyjne. Pacjenci z objawami przewlekłego

zapalenia błony śluzowej nosa i zatok (grupa 53 nurków) w trakcie hospitalizacji dobrze reagowali na leczenie zachowawcze, tylko u ok. 30% potrzebne było leczenie chirurgiczne.

I.3. Problemy otologiczne („uszne") związane z nurkowaniem

Większość problemów zdrowotnych związanych z nurkowaniem dotyczy regionu głowy i szyi, gdzie dominują w ok. 65% dolegliwości związane z narządem słuchu, czyli uchem zewnętrznym, środkowym i wewnętrznym [29, 34]. Fizjologią, diagnostyką, rozpoznawanie i leczeniem schorzeń uszu zajmuje się dział otolaryngologii- otologia.
Problemy otologiczne („uszne") u nurków to głównie stany zapalne (tzw. „ucho pływaka") i zwężenia przewodu słuchowego zewnętrznego (egzostozy), zawroty głowy o typie *alternobaric vertigo*, oraz urazy ciśnieniowe ucha [28, 29, 33-37].

I.3.1. Zapalenie przewodu słuchowego zewnętrznego

Ostre zapalenie ucha zewnętrznego (łac. *otitis externa* -OE) jest najczęstszym otologicznym schorzeniem u nurkujących, które nazywane jest potocznie „uchem pływaka" [29]. W zdecydowanej większości jest to zakażenie na tle bakteryjnym, w którym dominują gram-ujemne pałeczki ropy błękitnej *Pseudomonas aeruginosa* [28].
Czynnikami sprzyjającymi stanom zapalny skóry przewodu słuchowego zewnętrznego są mikrourazy naskórka skóry przewodu słuchowego, zaburzenia wydzielania woszczyny, zwężenia przewodu, tendencja do zalegania wody w przewodzie słuchowym [38], a u nurków dodatkowo, częsty i zazwyczaj długi kontakt ucha zewnętrznego ze środowiskiem wodnym.
Wingelaar i wsp. w latach 2011-2016 obserwował grupę 162 nurków wojskowych, adeptów holenderskiej szkoły nurkowej Królewskiej Marynarki Wojennej. Badacze zaobserwowali tendencję wzrostu występowania epizodów OE u szkolnych nurków w zależności od długości i intensywności trwania szkolenia nurkowego. W trakcie 6 tyg. kursów największa ilość przypadków OE stwierdzono w 4 tyg. szkolenia, po 3 tyg. intensywnego treningu nurkowego w wodach otwartych [39].

Głównym i zasadniczym objawem ostrego zapalenia ucha zewnętrznego jest ból i tkliwość przy ucisku skrawka małżowiny usznej. Często pojawia się wyciek z przewodu słuchowego (przy nadkażeniu *Pseudomonas aeruginosa*- zazwyczaj cuchnący),

a w przypadku narastającego obrzęku skóry przewodu i zalegania wydzieliny, następuje pogorszenie słuchu.

Podstawową zasadą leczenia zakażenia bakteryjnego ucha zewnętrznego, w przypadkach bez towarzyszących objawów ogólnych (gorączka, limfodenopatia, rozlany stan zapalny) jest stosowanie leczenia miejscowego w warunkach ambulatoryjnych pod kontrolą laryngologiczną. Stosowanie przez nurków ogólnodostępnych kropli do uszu, często nie daje efektu terapeutycznego (czasami wręcz nasila objawy zapalne) i wymaga konsultacji laryngologicznej.

Wg wytycznych CPG (ang. *Clinical Practice Guideline*), które przedstawił w swoim opracowaniu Rosenfeld i wsp. [40], w leczeniu ostrego zapalenia ucha zewnętrznego stosuje się antybiotyki podawane miejscowo, natomiast antybiotykoterapia ogólna ma zastosowanie ograniczone. Najpopularniejsze preparaty farmakologiczne stosowane są w postaci kropli i zawierają pochodne fluorochinolonów często w połączeniu ze kortykosteroidami. W leczeniu wspomagającym zaleca się stosowanie preparatów obniżających pH przewodu słuchowego zewnętrznego np. 2% roztwór kwasu octowego i 5% roztwór kw. bornego. Wytworzone w ten sposób kwaśne środowisko w świetle przewodu słuchowego hamuje rozwój bakterii, w tym min. *Pseudomonas aeruginosa.*

Przed aplikacją leków do przewodu słuchowego wskazane jest regularne (min. 3-4 dni) oczyszczanie jego światła, przez lekarza laryngologa, z zalegającej zakażonej wydzieliny i mas naskórka. W okresie leczenia zakazane jest moczenie ucha, a tym samym nurkowanie.

W profilaktyce nawracających stanów zapalnych ucha zewnętrznego zalecane jest: usuwanie woskowiny obturującej przewód słuchowy, stosowanie przed i po nurkowaniu, kropli obniżających pH skóry przewodu słuchowego, suszenie uszu suszarką i unikanie urazów skóry przewodu słuchowego (zakaz stosowania tzw. „ patyczków do czyszczenia ucha").

Zastosowane prawidłowe leczenie „ucha pływaka", w zdecydowanej większości przypadków klinicznych, przynosi w okresie 2-3 tyg. całkowite ustąpienie dolegliwości i możliwość powrotu do nurkowania. W sytuacji nieustąpienia bądź nasilenia objawów klinicznych, oraz w przypadku nawracających epizodów „ucha pływaka", wymagana jest poszerzona diagnostyka laryngologiczna.

I.3.2. Zwężenia przewodu słuchowego zewnętrznego

Najczęstsza przyczyną zwężenia przewodu słuchowego u nurkujących są wyrośla kostne tzw. z łac. *exostosis*. Histopatologicznie jest to łagodny, charakterystycznie układający się warstwowo w formie cebuli, przerost kości zbitej przewodu słuchowego zewnętrznego [38]. Wyrośla powodują zwężenia przewodu słuchowego, które sprzyjają zaleganiu woskowiny i wody, a przez to maceracje i uszkodzenie skóry, co prowadzi do przewlekłych stanów zapalnych z narastającym upośledzeniem słuchu typu przewodzeniowego.

Z niewyjaśnionych dotąd przyczyn problemy zdrowotne związane z *exostosis* dotyczą częściej mężczyzn narażonych na ekspozycję na zimną wodę i powietrze (sporty wodne, lotnictwo). Sheard i wsp. [41] w swoim opracowaniu przedstawili porównanie grupy nurkujących na wstrzymanym oddechu, z nurkującymi w aparatach oddechowych i grupą osób uprawiającą surfing. W badanej grupie nurkujących na wstrzymanym oddechu stwierdzono ponad 87% przypadków wyrośli kostnych spośród 204 ocenianych otoskopowo uszu. W przeprowadzonej analizie autorzy opracowania zauważyli większy odsetek występowania wyrośli kostnych u nurkujących na wstrzymanym oddechu w porównaniu do grupy nurkujących w aparatach oddechowych. Najwięcej przypadków *exostosis* stwierdzono w grupie osób uprawiającej surfing, dlatego też w anglojęzycznej nomenklaturze określane jest jako ucho surfera (z ang. *surfer's ear*). W podsumowaniu swoich badań autorzy zauważają, większą tendencję do występowania wyrośli kostnych u nurkujących (pływających) w otwartych i o niskiej temperaturze wody, akwenach wodnych.

Leczenie wyrośli kostnych jest zazwyczaj zachowawcze i ogranicza się do regularnej toalety i oczyszczania zwężonego przewodu słuchowego z zalegającej woskowiny i wydzieliny. Wymaga to okresowej kontroli laryngologicznej.
W przypadku narastającego niedosłuchu i nawracających stanów zapalnych przewodu słuchowego zewnętrznego należy przeprowadzić leczenie chirurgiczne (kanaloplastyka przewodu słuchowego) w ramach oddziału otolaryngologicznego [29].

I.3.3. Alternobaric vertigo

Alternobaric vertigo (AV) to dezorientujące i nieprzyjemne zawroty głowy pojawiające się u nurkujących w wyniku nierównomiernego wyrównywania się ciśnienia

w uchu środkowym, pobudzającym poprzez okienko owalne i okrągłe narząd przedsionkowy (czynnościowo związany z równowagą) ucha wewnętrznego. AV jest najczęstszą przemijająca przyczyną zawrotów głowy podczas nurkowania, w przeważającej większości występujących w trakcie wynurzania [1, 29, 42]. Dominującym objawem AV są nieprzyjemne, zazwyczaj przemijające zawroty głowy o charakterze wirowym, z towarzyszącymi nudnościami, piskami, szumami i uczuciem pełności w uchu.

Z punktu widzenia klinicznego AV nie jest chorobą niebezpieczną dla zdrowia nurka, ponieważ w większości przypadków, w wyniku wyrównania ciśnienia w uszach, następuje ustąpienie nieprzyjemnych objawów. Niebezpieczna jest nieadekwatna reakcja nurka, który doznał epizodu AV pod wodą. Napad paniki, niekontrolowane wynurzanie, zaburzenie orientacji pod wodą, nudności z nasilonymi wymiotami, mogą w skrajnych sytuacjach doprowadzić do utonięcia.

Czynnikami ryzyka wystąpienia AV pod wodą są: dysfunkcje trąbki słuchowej, nurkowanie w zimnej wodzie, występujące w przeszłości zapalenia ucha środkowego i nawracające epizody AV, płeć żeńska [29, 43, 44].

Jak wcześniej wspomniano, AV powstaje na skutek, nierównomiernego wyrównania się ciśnienia w uchu środkowym. Ciśnienie to wyrównywane jest poprzez trąbkę słuchową łączącą jamę bębenkową z jamą nosowo-gardłową [25, 26]. Jeżeli dochodzi do niedrożności trąbki słuchowej np. wskutek obrzmienia błony śluzowej ujścia gardłowego i nosa w trakcie infekcji, nurek pod wodą ma problemy z uzyskaniem tzw. „przedmuchu" i wyrównania ciśnienia w uchu środkowym, przez co wzrasta ryzyko AV. Powszechnie uważa się, że jest to główny mechanizm i przyczyna wystąpienia AV u nurkujących [29, 42-45].

Kitijama i wsp. [45] w swoich badaniach dokonali analizy wpływu dysfunkcji trąbki słuchowej na ryzyko wystąpienia epizodu AV podczas nurkowania. Grupa badawcza składała się z 44 pacjentów (11 mężczyzn i 33 kobiet) hospitalizowanych z powodu wypadku nurkowego dotyczącego ucha środkowego. Grupę kontrolną stanowiło 20 zdrowych nurków ochotników (6 mężczyzn i 14 kobiet). Grupa badawcza została podzielona na pacjentów z objawami i bez objawów AV. Wszyscy uczestniczący w badaniu nurkowie byli regularnie badani przez laryngologa i przechodzili testy funkcjonowania trąbki słuchowej- sonotubometrię (badanie funkcji wentylacyjnej trąbki słuchowej) i testy impedancji (pomiar podatności ucha środkowego).

W otrzymanych wynikach badań stwierdzono znacząco różne pomiary sonotubometrii i testów impedancji wykonanych u nurków którzy doświadczyli urazu ucha środkowego z objawami AV, w porównaniu do grupy zdrowych nurkujących ochotników. W wnioskach autorzy publikacji rekomendują dokładną ocenę funkcji trąbki słuchowej przed nurkowaniem, co znacznie zmniejszy ryzyko wystąpienia AV lub barotraumy ucha środkowego u nurków. Jakakolwiek dysfunkcja trąbki słuchowej powinna być wyleczona przed rozpoczęciem nurkowania.

Jak wcześniej wspomniano objawy AV są zazwyczaj przemijające i rzadko wymagają udzielenia pilnej pomocy medycznej. Nurek, który doznał zawrotów głowy podczas wynurzania, powinien w celu wyrównania ciśnienia w strukturach ucha, wstrzymać wynurzanie. Zalecane jest, celem lepszej stabilizacji i orientacji pod wodą, uchwycenie się skały, podłoża.

Jeżeli epizody AV podczas nurkowań nawracają i nasilają się, wskazana jest rozszerzona diagnostyka laryngologiczna, koniecznie uzupełniona o konsultację m.in. lekarza neurologa i okulistę.

I.4. Uraz ciśnieniowy - barotrauma

Uraz ciśnieniowy (barotrauma) najczęściej opisuje się jako uszkodzenie tkanek spowodowane rozszerzeniem lub zwężeniem zamkniętych przestrzeni gazowych, wskutek zmian objętości gazu w nich zawartego [1, 46]. Z względu na patomechanizm powstawania uraz ciśnieniowy dzieli się na:

a) barotraumę zanurzania (lub zgniecenie) - zalicza się tutaj urazy, do których dochodzi z powodu zmniejszania się objętości gazu w przestrzeniach gazowych w wyniku zwiększania się ciśnienia otoczenia,
b) barotraumę wynurzania- to mechanizm działania odwrotny, w którym dochodzi do zwiększania się objętości przestrzeni gazowych w wyniku spadku ciśnienia otoczenia [46]

Aby lepiej zrozumieć mechanizm barotraumy należy poznać podstawy fizyki, w tym, przede wszystkim pierwsze prawo Boyle'a-Mariotte'a, wg którego, w stałej temperaturze objętość masy gazu jest odwrotnie proporcjonalna do jego ciśnienia. Zgodnie z tym prawem zmiany objętości gazów wywołane zmianami ciśnienia panującego w środowisku (wodzie) są największe przy powierzchni [47]. Obrazowo podczas zanurzania pojemnika

wypełnionego gazem na głębokość 10 mH_2O, ciśnienie gazu ulegnie podwojeniu, natomiast jego objętość ulegnie zmniejszeniu o połowę. Na większych głębokościach zmiany te są znacznie mniejsze dla przykładu podczas zanurzania z 30 do 40 mH_2O ciśnienie gazu wzrasta tylko o 25% , a jego objętość zmniejsza się o 20% [35].
Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia, zasadnym wydaje się stwierdzenie, że ryzyko urazu ciśnieniowego u nurkujących jest wyższe podczas nagłych zmian głębokości na płytkiej wodzie, w porównaniu do tych samych zmian podczas nurkowań głębokich.

Aby uniknąć barotraumy, ciśnienie w przestrzeniach wypełnionych powietrzem, powinno być wyrównywane do poziomu ciśnienia otoczenia, co w przypadku uszu uzyskuje się najczęściej za pomocą specjalnych manewrów wykonywanych już na niewielkich głębokościach, a najlepiej od chwili rozpoczęcia zanurzania [1, 48].

Z punktu widzenia klinicznego istotne jest odróżnianie objawów urazów ciśnieniowych od objawów choroby dekompresyjnej (ang. *decompression sickness*- DCS), ze względu na inne przyczyny ich powstawania i sposoby leczenia. Mechanizm powstawania przyczyn DCS opisuje prawo Henry'ego, według którego ilość gazu, która rozpuszcza się w cieczy w danej temperaturze jest proporcjonalna do ciśnienia parcjalnego tego gazu [1, 49]. Następstwem tego i główną przyczyną choroby dekompresyjnej jest powstawanie zatorów gazowych, których głównym źródłem jest gaz zgromadzony w płynach i tkankach uwalniany najczęściej w przypadku nieprawidłowego, zbyt szybkiego wynurzania się nurka na powierzchnię wody [1, 48, 49].

I.4.1. Uraz ciśnieniowy ucha

Pierwsze doniesienia o problemach usznych związanych z nurkowaniem pojawiły się w XIX wieku. Dr Andrew Smith w 1873 r. podczas prac podwodnych w trakcie budowy Mostu Brooklińskiego zauważa u nurków liczne objawy „choroby kesonowej" z postępującym uszkodzeniem narządu słuchu i równowagi [5].
W 1897 r. Niemiec Alt opisał uraz ciśnieniowy ucha u pracowników kesonów. Jako pierwszy wysunął tezę, że uszkodzenie ucha podczas nurkowania może wystąpić podczas sprężania i jest spowodowane nieprawidłowym wyrównaniem ciśnienia w uchu środkowym.
Wraz z wynalezieniem akwalungu, nastąpił w XX wieku gwałtowny wzrost popularności nurkowania rekreacyjnego, co spowodowało wzrost częstości występowania problemów laryngologicznych u nurkujących, a zwłaszcza urazów ciśnieniowych ucha podczas

zanurzania. Amerykanin Teed w 1944r. opisuje zmiany otoskopowe błony bębenkowej u członków załogi okrętu podwodnego podczas szkolenia symulowanej ewakuacji. Na podstawie zaobserwowanych zmian w wyglądzie błony bębenkowej tworzy swoją 5-cio stopniową skalę oceny barotraumy ucha środkowego [50].
W 1957 r. J.A. Fields pierwszy publikuje badania dotyczące uszkodzenia ucha wewnętrznego podczas nurkowania swobodnego. W latach siedemdziesiątych Edmonds, Thomas i Farmer utworzyli klasyfikację oraz opisali mechanizmy uszkodzenia uszu podczas nurkowania [51, 52]. Do urazów uszkadzających narząd słuchu, będących wynikiem nurkowania, zaliczono: uraz ciśnieniowy ucha, niedosłuch, zawroty głowy, choroba dekompresyjną w postaci przedsionkowej, stany zapalne i infekcje uszu. Dodatkowo Edmonds opracował swoja skalę otoskopowej oceny zmian w przypadku barotraumy ucha środkowego.

Podstawowym mechanizmem zabezpieczającym nurka przed urazem ciśnieniowym ucha jest prawidłowe wyrównywanie ciśnienia powietrza w jamie bębenkowej z ciśnieniem w środowisku zewnętrznym. Do najczęściej stosowanych przez nurków metod wyrównania ciśnienia w przestrzeniach powietrznych ucha należą manewry: Valsalvy, Toynbeego, Lowry'go Frenzla, Edmondsa, BTV wykonywanych już na niewielkich głębokościach[1, 29, 48, 53, 54].

Najczęściej wykonywaną przez nurków techniką wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym jest manewr Valsalvy, który polega na wykonaniu wydechu przez nos przy zamkniętych ustach i uciśniętych skrzydełkach nosa. Metoda ta powoduje wzrost ciśnienia i otwarcie (udrożnienie) trąbki słuchowej. Niestety, ta prosta i skuteczna próba, niesie ze sobą przy nieumiejętnym wykonaniu, największe ryzyko uszkodzenia ucha środkowego i wewnętrznego [1, 53, 54].

Manewr Toynbeego wykonuje się przełykając ślinę przy uciśniętych skrzydełkach nosa, co powoduje, przy zachowanej drożności trąbki słuchowej, „zassanie" powietrza z jamy bębenkowej do nosogardła i powstanie podciśnienia (ujemnego ciśnienia) w uchu środkowym. Połączeniem prób Valsalvy i Toynbeego jest manewr Lowry'go, w którym łączy się próbę wydechu powietrza przy zamkniętych nozdrzach przednich z próbą przełknięcia śliny.

Wyrównanie ciśnienia w uchu środkowym można również uzyskać poprzez wykonanie manewru Frenzla, który podobnie jak manewr Valsalvy zwiększa ciśnienie i powoduje otwarcie trąbki słuchowej. Różnica polega na tym, że w metodzie Frenzla używa się języka, jako swoistego rodzaju tłoka: po nabraniu powietrza do jamy ustnej, przy

zamkniętych nozdrzach przednich i głośni, wykonuje się ruchy nasady języka w kierunku górno-tylnym.
Metoda Edmondsa polega na połączeniu manewru Valsalvy z ruchami żuchwy w kierunku przednio-tylnym, co umożliwia napięcie mięśni podniebienia.
Najbardziej fizjologiczną, a zarazem najtrudniejszą do opanowania metodą wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym, jest technika BTV (z franc. *Beance Tubaire Volontaire*). Metoda opracowana przez nurków Francuskiej Marynarki Wojennej w latach pięćdziesiątych XX wieku. Polega na kontrolowanym otwarciu trąbek słuchowych poprzez pracę mięśni podniebienia (m.in. napinacza podniebienia miękkiego). BTV jest techniką trudną do opanowania, wymagającą wielomiesięcznych ćwiczeń w celu uzyskania kontroli nad pracą mięśni podniebienia.

Podstawowym warunkiem skuteczności opisanych prób i manewrów jest prawidłowa funkcja i drożność trąbki słuchowej, która łączy jamę bębenkową z jamą nosowo-gardłową. Niespełnienie tego podstawowego warunku powoduje niewłaściwe wyrównanie ciśnienia w jamie bębenkowej i jest najczęstszą przyczyną urazu ciśnieniowego uszu [1, 18, 28, 29, 33-36, 45, 48, 50, 53-73].

Do innych przyczyn powstania urazu ciśnieniowego ucha zalicza się:
- niedrożność przewodu słuchowego zewnętrznego- najczęściej z powodu zalegających mas woskowiny, ciała obcego (np. wata, tzw. „stoper"), stanów zapalnych, dużych wyrośli kostnych, ciasno przylegającego do małżowiny usznej kaptura skafandra itd.
- mechanizm mieszany, czyli niedrożność trąbki słuchowej połączona z niedrożnością przewodu słuchowego zewnętrznego.

Wśród nurkujących najczęściej dochodzi do barotraumy ucha środkowego, rzadziej ucha wewnętrznego, a najrzadziej przewodu słuchowego zewnętrznego [30, 33-35].

I.4.1.1. Barotrauma przewodu słuchowego zewnętrznego

Barotrauma ucha zewnętrznego występuje rzadko, niemniej jednak jest ono narażone jest na uraz ciśnieniowy w momencie, kiedy ciśnienie w przewodzie słuchowym zewnętrznym nie zostanie wyrównane do poziomu ciśnienia panującego w otoczeniu [54]. Ten typ barotraumy najczęściej powstaje w wyniku okluzji przewodu słuchowego zewnętrznego spowodowanej przez: ściśle przylegający kaptur skafandra, woskowinę, wyrośla kostne, stosowanie zatyczek usznych [50, 54].

Podczas nurkowania z niedrożnym przewodem słuchowym zewnętrznym, powstaje zamknięta przestrzeń powietrzna pomiędzy błoną bębenkową a miejscem okluzji. Podczas zanurzania błona bębenkowa ulegnie uwypukleniu na zewnątrz, w kierunku niższego ciśnienia. Zwiększone napięcie błony bębenkowej będzie powodowało u nurków dyskomfort i narastający ból ucha podczas zanurzania. Próby przedmuchiwania trąbki słuchowej mogą dodatkowo nasilić objawy kliniczne. W skrajnej sytuacji, jeżeli różnica ciśnień pomiędzy jamą bębenkową a niedrożnym przewodem słuchowym zewnętrznym, przekroczy „granicę wytrzymałości" błony bębenkowej, dochodzi do jej urazowej perforacji, z następowym zalaniem wodą i uszkodzeniem ucha środkowego (współwystępujący uraz ciśnieniowy ucha środkowego).
W badaniu otoskopowym ucha można zaobserwować przekrwienie, pęcherzyki i krwistą wydzielinę w kanale słuchowym zewnętrznym lub znacznie rzadziej, rozerwanie błony bębenkowej [1, 54, 55].

Leczenie urazu ciśnieniowego ucha zewnętrznego jest głównie objawowe i polega na założeniu do przewodu słuchowego jałowego opatrunku oraz zastosowaniu kropli znieczulających z dodatkiem miejscowych glikokortykosterydów i antybiotyków. Powrót do nurkowania jest możliwy po wygojeniu się uszkodzonych tkanek [54].

I.4.1.2. Barotrauma ucha wewnętrznego

Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego występuje niezmiernie rzadko, niemniej jednak jest on bardzo niebezpieczny i może prowadzić do trwałych, nieodwracalnych uszkodzeń narządu słuchu i równowagi. Większość dostępnych opracowań sugeruje istnienie kilku mechanizmów, które mogą doprowadzić do uszkodzenia ucha wewnętrznego podczas nurkowania. Wśród nich najczęściej wymieniane są: przetoka perlimfatyczna w okienku okrągłym lub owalnym, krwawienie, przerwanie struktur błędnika błoniastego [1, 54, 74].

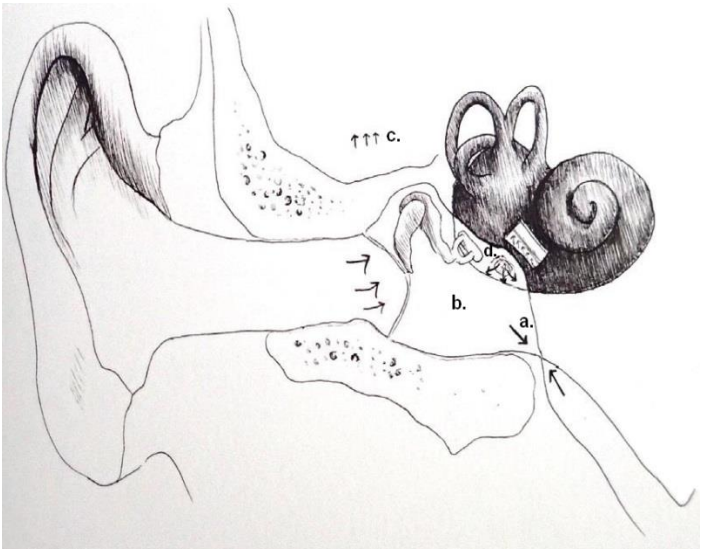
Barotrauma ucha wewnętrznego powstaje w wyniku transmisji zmian ciśnienia w uchu środkowym do ślimaka poprzez okienko okrągłe i owalne co wywołuje mechanizm implozyjnego lub eksplozyjnego uszkodzenia ucha wewnętrznego [29].
Najczęściej uszkodzeniu ulega pokryte jedynie cienką błoną okienko okrągłe, ponieważ okienko owalne jest chronione przed zmianami ciśnienia przez podstawę strzemiączka.

Podczas zanurzania, w przypadku wykonania przez nurka forsowanej próby Valsavy, następuję gwałtowne otwarcie trąbki słuchowej i wzrost ciśnienia w przestrzeni

ucha środkowego. Następstwem tego jest nagły ruch odśrodkowy strzemiączka w okienku owalnym i dośrodkowy ruch (implozja) delikatnej błony okienka okrągłego (ryc. 1.7). Generowana w ten sposób fala ciśnienia, może uszkadzać w strukturach ślimaka naczynia krwionośne i doprowadzić do rozerwania błony Reissnera i błony podstawnej. Dośrodkowy ruch w mechanizmie implozji okienka okrągłego oraz przemieszczająca się podstawa strzemiączka w okienku owalny mogą doprowadzić do uszkodzenia ich delikatnych błon i powstania przetoki perlimfatycznej [29, 48, 74].

Ryc. 1.7. Powstanie urazu ciśnieniowego ucha i przetoki perlimfatycznej w mechanizmie implozji: a- gwałtowne otwarcie trąbki słuchowej w przebiegu forsowanego manewru Valsavy ; b- postępujący wzrost ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego, powodujący rozciągnięcie błony bębenkowej i ruch dośrodkowy (implozję) błony okienka okrągłego ; c- i sublokację (przemieszczenie) płytki strzemiączka [29].

Przetoka perlimfatyczna może także powstać w wyniku mechanizmu eksplozji i rozdarcia okienka okrągłego. Do tego typu urazu dochodzi w wyniku przeprowadzenia nieudanej próby Valsalvy przy dysfunkcji trąbki słuchowej, co wpływa pośrednio na zwiększenie ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego i przychłonki w uchu wewnętrznym, powodując odśrodkowe uwypuklenie i rozdarcie okienka okrągłego (ryc. 1.8).



Ryc. 1.8. Powstanie urazu ciśnieniowego ucha i przetoki perlimfatycznej w mechanizmie eksplozji: a- nieudany manewr Valsavy w wyniku niedrożności trąbki słuchowej ; b- postępujący spadek ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego ; c- co powoduje wzrost ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego i płynów ucha wewnętrznego ; d- czego następstwem jest rozdarcie okienka okrągłego i krwawienie wewnątrz ślimaka ucha wewnętrznego [29].

Do dalszego uszkodzenia ucha wewnętrznego może dochodzić podczas wynurzania, kiedy rozprężające się powietrze w uchu środkowym, dostaje się poprzez przetokę perlimfatyczną do ucha wewnętrznego i uszkadza struktury ślimaka i przedsionka powodując zawroty głowy z zaburzeniami równowagi oraz nieodwracalne uszkodzenie słuchu.

Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego może współwystępować równocześnie z barotraumą ucha środkowego, jednak w znakomitej większości przypadków występuje niezależnie [55].

W większości przypadków objawy kliniczne uszkodzenia ucha wewnętrznego narastają stopniowo i łagodnie. Wśród dolegliwości nurkowie najczęściej podają pojawiające się podczas zanurzania problemy z wyrównaniem ciśnienia w uszach, narastający ucisk i ból ucha często z towarzyszącymi zawrotami głowy. Po wynurzeniu stopniowo narasta uczucie „zatkania ucha", szumy uszne i pogorszenie słuchu. Często występują zaburzenia równowagi z nudnościami i wymiotami, które w większości przypadków ustępują w ciągu kilku godzin.

Jeżeli objawy kliniczne uszkodzenia przedsionka (narządu równowagi) utrzymują się kilka dni i dodatkowo towarzyszy im pogorszenie słuchu, zachodzi podejrzenie powstania przetoki perlimfatycznej. W przypadku takiego rozpoznania wskazana jest

poszerzona diagnostyka, m.in. wykonanie badań audiometrycznych, badań pobudliwości błędnika (wideonystagmografia-VNG), tomografii komputerowej kości skroniowych oraz wykonanie tzw. „prób przetokowych" [75].

Następstwem urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego jest uszkodzenie słuchu typu odbiorczego. W przypadku krwawienia do ślimaka i uszkodzenia narządu spiralnego (Cortiego) może wystąpić trwała głuchota. Uszkodzenie słuchu spowodowane powstaniem przetoki perlimfatycznej ma zazwyczaj łagodny i zmienny charakter (fluktuacyjny), często z towarzyszącymi i dominującymi objawami zaburzeń równowagi.

Ryzyko nieodwracalnego uszkodzenia słuchu i następowej głuchoty znacznie wzrasta w przypadkach jednoczasowo występujących urazów ciśnieniowych ucha wewnętrznego i środkowego [76].

Ze względu na wysokie ryzyko trwałego uszkodzenia narządu słuchu i równowagi, każdy nurek z podejrzeniem urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego powinien skonsultować się ze specjalistą laryngologiem.

W rozpoznaniu, diagnostyce różnicowej i monitorowaniu postępów leczenia niedosłuchu u nurkujących zasadnicze znaczenie mają kontrolne badania słuchu: audiomeria progrowa tonalna i audiometria impedancyjna (tympanometria). Ważna jest również ocena otoneurologiczna układu równowagi (oczopląs, próby statyczno-kinetyczne, test Dix-Hallpike'a) uzupełniona wg wskazań o diagnostykę obrazową (TK, MRI).

Leczenie barotraumy ucha wewnętrznego w większości przypadków klinicznych jest zachowawcze i polega na stosowaniu farmakoterapii, odpoczynku, unikania wysiłku fizycznego i sytuacji zwiększających ciśnienie w uchu (przedmuchiwanie trąbek słuchowych, kichanie, wydmuchiwanie nosa, przedłużona defekacja itp.).

W farmokoterapii największe znaczenie kliniczne mają doustne glikokortykosterydy [29, 53, 54, 74]. Najczęściej stosowany jest prednizolon w dawce początkowej ok. 60 mg/dobę, następnie w dawkach malejących, aż do odstawienia leku w ciągu 2-3 tyg. W przypadku nurków z głębokim niedosłuchem odbiorczym o krótkim wywiadzie klinicznym, niektóre ośrodki lecznicze preferują dobębenkową (transtympanalną) drogę podawania glikokortykosterydów. Na chwilę obecną nie ma potwierdzonych w piśmiennictwie dowodów korzyści i przewagi terapeutycznej tej formy leczenia nad leczeniem systemowym.

Podobnie jak w przypadku leczenia, zgodnie z zaleceniami Polskiego Towarzystwa Audiologicznego i Foniatrycznego [77], epizodów nagłej głuchoty, uzupełnieniem sterydoterapii w leczeniu barotraumy ucha wewnętrznego może być, w zależności od

indywidualnych wskazań, stosowanie leków poprawiających krążenie, antykoagulantów (aspiryny i niesteroidowych leków p/zapalnych- ang. *Non-steroidal anti-inflammatory drugs*- NSAIDs) i pochodnych kwasu nikotynowego .

Leczenie operacyjne należy rozważyć u nurków z podejrzeniem powstania przetoki perlimfatycznej, a w szczególności kiedy objawom przedsionkowym towarzyszy znaczny niedosłuch odbiorczy. Część autorów preferuje postawę „wyczekiwania" i obserwacji klinicznej pacjenta, ponieważ w ok. 50-60% przypadków może nastąpić spontaniczna poprawa słuchu, bez wdrożenia jakiejkolwiek terapii [54, 78]. Operacyjne zaopatrzenie przetoki perlimfatycznej u ponad 90% leczonych powoduje ustąpienie objawów przedsionkowych.

Szybkie rozpoznanie i odpowiednie leczenie urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego u nurków daje duże szanse na całkowity powrót do zdrowia i uprawiania nurkowania w przyszłości. Część autorów zaleca po epizodzie barotraumy ucha wewnętrznego ok. 6 miesięczny okres obserwacji klinicznej i przerwy od nurkowania [74, 79].

Z punktu widzenia klinicznego istotne jest odróżnianie objawów urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego od objawów postaci przedsionkowej choroby dekompresyjnej (DCS), przede wszystkim ze względu na inne przyczyny ich powstawania i sposoby leczenia.

W diagnostyce różnicowej zasadnicze znaczenie ma odpowiednio zebrany wywiad lekarski dotyczący, obok dolegliwości klinicznych, przede wszystkim warunków nurkowania (m.in. czas nurkowania, głębokość, mieszaniny oddechowe itp.). Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego najczęściej powstaje już na małych głębokościach w wyniku zanurzania, uszkodzenie ucha w DCS to głównie problem długotrwałych ekspozycji i dużych głębokości, głównie podczas wynurzania w nurkowaniach z użyciem mieszanin oddechowych [29, 80, 81]. Złotym standardem leczenia DCS, w tym także postaci z objawami ze strony ucha wewnętrznego jest rekompresja nurka w komorze hiperbarycznej, która zastosowana w odpowiedni czasie (do 5 h) u około 90% nurków zapobiegnie trwałemu uszkodzeniu ucha [29]. Zastosowanie terapii hiperbarycznej w przypadku barotraumy ucha wewnętrznego (mylnie rozpoznany DCS) niesie ze sobą ryzyko dalszego uszkodzenia struktur ucha wewnętrznego.

Część badaczy jest zdania, żeby w przypadkach wątpliwości klinicznych, wykonywać profilaktycznie, przed leczeniem hiperbarycznym, obustronną paracentezę z założeniem drenażu wentylacyjnego ucha środkowego [29, 80]. Postępowanie to wymaga jednak wysoko -wykwalifikowanego personelu medycznego. Tymczasem często leczenie

hiperbaryczne prowadzone jest, bądź choćby inicjowane, przez kierownika nurkowania [82-87].

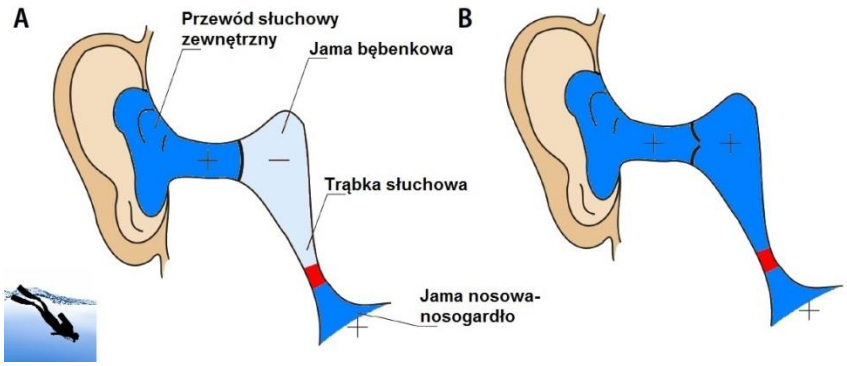
I.4.1.3. Barotrauma ucha środkowego

Barotrauma ucha środkowego jest najczęstszym urazem ciśnieniowym spotykanym u nurków, zarówno amatorów, jak i zawodowców [1, 28, 29, 33-36, 48, 50, 53-62, 70, 71]. Szacuje się, że wśród zgłaszanych przez nurków dolegliwości z regionu głowy i szyi, ok. 46% dotyczy urazu ciśnieniowego ucha środkowego [1, 29, 35].

Do barotraumy ucha środkowego dochodzi przy niemożności wyrównania ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej, najczęściej w czasie zanurzania, rzadko podczas wynurzania nurka. W etiologii uszkodzenia ciśnieniowego ucha środkowego najważniejszą rolę odgrywa dysfunkcja trąbki słuchowej i jej niedostateczne otwarcie podczas wykonywania przez nurków manewrów wyrównujących ciśnienie w uchu.

Objawy kliniczne urazu ciśnieniowego ucha narastają stopniowo. Podczas zanurzania w przypadku niedrożności trąbki słuchowej następuje, wraz ze wzrostem głębokości, spadek ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego. Błona bębenkowa ulega wciągnięciu w kierunku jamy bębenkowej, a w przestrzeniach ucha środkowego powstaje przesięk (ryc. 1.9).

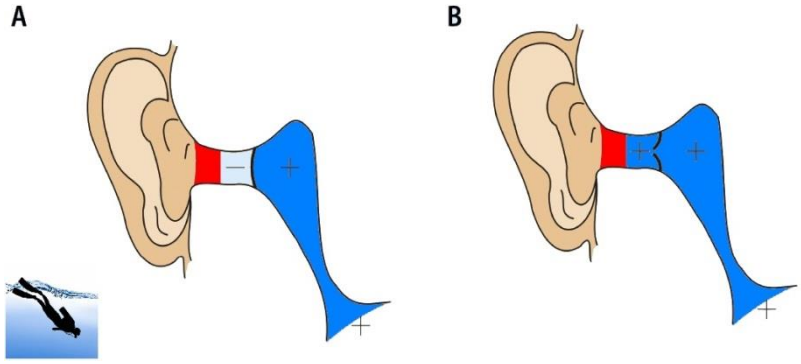
Nurek zaczyna odczuwać ucisk w uchu z narastającym uczuciem pełności i dzwonienia. W trakcie dalszego zanurzania, przy różnicy ciśnień pomiędzy uchem środkowym a środowiskiem zewnętrznym wynoszącej ok. 60 mmHg (0,8 mH_2O), nasila się ból ucha [55]. Dodatkowo przy zanurzeniu już na ok. 1,4 m, w przypadku niedrożności trąbki słuchowej, może powstać krytyczna różnica ciśnień wynosząca 90 mmHg (1,2 mH_2O), powodująca zapadanie się i blokadę trąbek słuchowych, uniemożliwiającą wykonanie przez nurka ponownych manewrów wyrównania ciśnienia [29, 53-55].



Ryc. 1.9. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy niedrożnej trąbce słuchowej: A- błona bębenkowa ulega wciągnięciu w kierunku do jamy bębenkowej w wyniku panującego tam niższego ciśnienia (-) ; B- błona bębenkowa ulega perforacji co powoduje wyrównanie się ciśnienia (wszędzie +).

Źródło: https://idawpolsce.pl

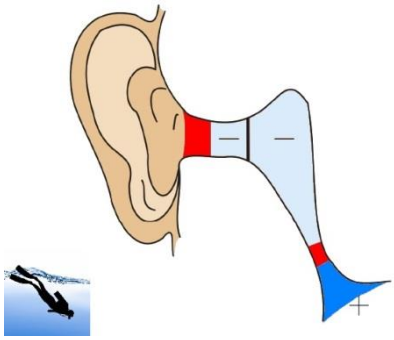
Uszkodzenie błony bębenkowej i ucha środkowego może również nastąpić podczas zanurzania się z niedrożnym przewodem słuchowym zewnętrznym. W tym przypadku błona bębenkowa uwypukla się na zewnątrz w kierunku niższego ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym (ryc. 1.10)**.**



Ryc. 1.10. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy niedrożnym przewodzie słuchowym zewnętrznym: A- błona bębenkowa ulega wciągnięciu w kierunku przewodu słuchowego zewnętrznego w wyniku panującego tam niższego ciśnienia (-) ; B- błona bębenkowa ulega perforacji co powoduje wyrównanie się ciśnienia (wszędzie +).

Źródło: https://idawpolsce.pl

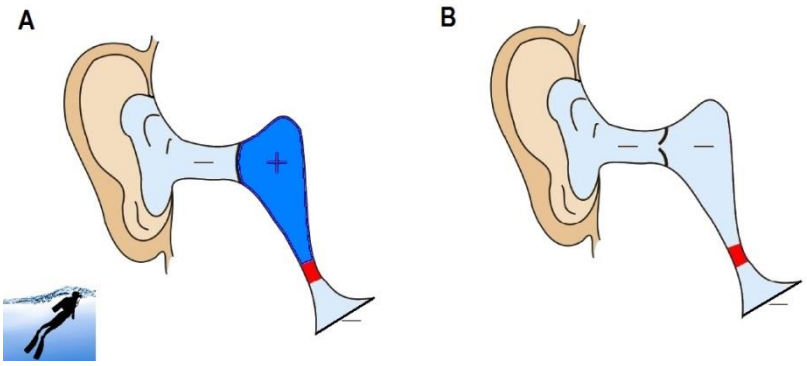
W mechanizmie mieszanym barotraumy ucha środkowego, przy niedrożnej trąbce słuchowej i przewodzie słuchowym zewnętrznym, podczas zanurzania ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej są podobne, dlatego też nie ulega ona zazwyczaj perforacji (ryc. 1.11).



Ryc. 1.11. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy jednocześnie niedrożnej trąbce słuchowej i przewodzie słuchowym zewnętrznym: W jamie bębenkowej i przewodzie słuchowym zewnętrznym zachodzą zmiany charakterystyczne dla urazu ciśnieniowego ucha, ale błona bębenkowa nie ulega perforacji.

Źródło: https://idawpolsce.pl

Jak wcześniej wspomniano do urazu ciśnieniowego ucha środkowego zdecydowanie rzadziej dochodzi w trakcie wynurzania. W tej sytuacji, przy niedrożnej trąbce słuchowej błona bębenkowa uwypukla się w kierunku zmniejszającego się ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym (ryc. 1.12), powoduje to stopniowe narastanie objawów klinicznych typowych dla barotraumy ucha środkowego łącznie z rozerwaniem błony bębenkowej.



Ryc. 1.12. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas wynurzania przy niedrożnej trąbce słuchowej: A- błona bębenkowa ulega wciągnięciu w kierunku przewodu słuchowego zewnętrznego w wyniku panującego tam niższego ciśnienia (-) ; B- błona bębenkowa ulega perforacji co powoduje wyrównanie się ciśnienia (wszędzie -).

Źródło: https://idawpolsce.pl

Do perforacji błony bębenkowej dochodzi najczęściej na głębokości 3-6 m, jednak w niektórych publikacjach naukowych można znaleźć opis przypadków uszkodzenia błony bębenkowej już przy zanurzeniu na 1-2 m [1, 29, 54]. Potwierdza to teorię, że do większość urazów ciśnieniowych u nurków dochodzi na małych głębokościach, tuż pod powierzchnią wody, ponieważ w tym momencie, zgodnie z prawem Boyle'a-Mariotte'a następują największe zmiany objętości gazów.

Objawy kliniczne uszkodzenia ciśnieniowego ucha środkowego mogą narastać stopniowo lub w sposób dynamiczny, zagrażający życiu nurka. Szczególnie niebezpieczne przy perforacji bębenkowej, jest nagłe zalanie ucha środkowego i wewnętrznego wodą, co może spowodować u nurka zaburzenia orientacji pod wodą, nudności, wymioty z zachłyśnięciem treścią pokarmową, czego konsekwencją może być utonięcie [1, 29, 50, 55, 57].

Mechanizm powstania opisanych zaburzeń przedsionkowych polega na podrażnieniu błędnika ucha wewnętrznego bodźcem termicznym, którym w przypadku barotraumy, jest woda dostająca się do ucha środkowego. Działanie termiczne wody powoduje przemieszczanie się płynów (śródchłonki) wewnątrz błędnika, co z kolei wyzwala powstanie oczopląsu i zawrotów głowy. Stopień nasilenia zaburzeń przedsionkowych jest zależny od różnicy temperatury śródchłonki błędnika (temperatura ludzkiego ciała), a bodźca termicznego- wody, dlatego też objawy przedsionkowe są szczególnie nasilone w przypadku pourazowego zalania przestrzeni ucha środkowego, wodą o niskiej temperaturze. Jeżeli temperatura wody, która dostaje się do ucha środkowego, jest zbliżona do temperatury ciała, objawy podrażnienia ucha wewnętrznego są znacznie mniej nasilone, a w niektórych przypadkach nie występują.

Po epizodzie barotraumy ucha środkowego nurek na powierzchni najczęściej zgłasza objawy charakterystyczne dla pourazowej perforacji błony bębenkowej m.in. jednostronne upośledzenie słuchu, piski, bulgotanie, krwisty wyciek z ucha [70, 71].

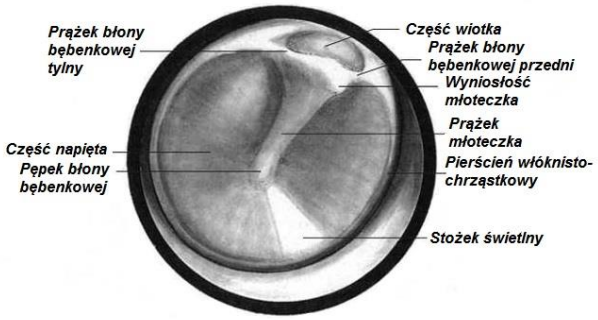
Innym, rzadko spotykanym objawem urazu ciśnieniowego ucha środkowego po nurkowaniu może być niedowład lub porażenie nerwu twarzowego [58, 70].

Na ten typ urazu narażeni są szczególnie nurkowie z ubytkami kostnymi (tzw. dehiscencjami), części bębenkowej kostnego kanału Fallopiusza, w którym przebiega przez ucho środkowe nerw twarzowy. Istnienie wspomnianych ubytków kostnych sprzyja uszkodzeniu nerwu twarzowego przez stany patologiczne zachodzące w uchu środkowym [58]. Za główną przyczynę uszkodzenia nerwu twarzowego w wyniku barotraumy ucha

środkowego uważa się zaburzenia ukrwienia nerwu wywołane zmianami ciśnienia, jakie zachodzą w uchu środkowym podczas nurkowania przy niedrożnej trąbce słuchowej [88].
W obrazie klinicznym dominują objawy obwodowego porażenia n. twarzowego t.j. opadnięcie po stronie porażenia kącika ust, wygładzenie fałdu nosowo-wargowego, utrudnione marszczenie czoła, zamknięcie powiek, zaburzenie i zniesienie czucia smaku w 2/3 przednich języka [38].
Leczenie uszkodzenia nerwu twarzowego po epizodzie urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego polega na stosowaniu kropli obkurczających i areozoli sterydowych do nosa oraz doustnych niesterydowych leków p/zapalnych (NSAID's).
W niektórych przypadkach klinicznych wskazana jest paracenteza (myringotomia) i sterydoterapia doustna. Uszkodzenie nerwu twarzowego po nurkowaniu wraz z współwystępowaniem ubytków kostnych w jego kanale, istotnie zwiększa ryzyko wystąpienia u nurków podobnych epizodów w przyszłości [70, 89].

Problemy z wyrównaniem ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego uniemożliwiające kontynuację zanurzania są częstą przyczyną zgłaszania się nurków po specjalistyczną poradę i pomoc otolaryngologa. Podstawą dla postawienia właściwego rozpoznania klinicznego zgłaszanych przez nurków problemów dotyczących narządu słuchu jest prawidłowo zebrany wywiad lekarski ukierunkowany na tematykę nurkową, poszerzony o ocenę otoskopową ucha zewnętrznego i środkowego z badaniami dodatkowymi t.j. badania słuchu, endosokopowa ocena jamy nosa i ujścia gardłowego trąbek słuchowych.

Badanie otoskopowe ucha (wziernikowanie ucha) jest jednym z podstawowych badań stosowanych w ocenie stanu ucha zewnętrznego, środkowego i błony bębenkowej (ryc. 1.13).



Ryc. 1.13. Obraz prawidłowej błony bębenkowej prawej w badaniu otoskopowym ucha [25]

Już podczas tego prostego badania otolaryngolog, posiadający nawet elementarną wiedzę z zakresu medycyny nurkowej, może postawić rozpoznanie wstępne odnośnie miejsca, stopnia i mechanizmu uszkodzenia ucha. Wziernikowanie ucha ma ważne znaczenie w podjęciu szybkiej decyzji o właściwym sposobie leczenia w zależności od stwierdzonego stopnia uszkodzenia struktur ucha [50].

Zakres zmian obserwowanych przez laryngologa podczas otoskopii po epizodzie baratraumy ucha środkowego może być bardzo szeroki, poczynając od poszerzenia naczyń błony bębenkowej, a kończąc na jej rozerwaniu i krwawieniu do przewodu słuchowego.
W praktyce klinicznej do oceny stopnia natężenia zmian w uchu środkowym po urazie ciśnieniowym, stosuje kilka różnych klasyfikacji, wśród których do najpopularniejszych należy 5-cio stopniowa skala Teedsa i 6-cio stopniowa skala Edmondsa (tzw. zmodyfikowana skala Teedsa) (tab. 1.1) [1, 50, 53, 56, 70].

Tab. 1.1. Klasyfikacje stosowane w ocenie otoskopowej stopnia natężenia zmian w uchu środkowym po urazie ciśnieniowym [1,53].

Stopień zaawansowania zmian	**Obraz błony bębenkowej w badaniu otoskopowym**	
	Skala Teeds'a	***Skala Edmondsa***
0	Obraz prawidłowy	Obraz prawidłowy
1	Retrakcja z przekrwieniem okolicy rękojeści młoteczka	Retrakcja z przekrwieniem okolicy rękojeści młoteczka
2	Retrakcja z przekrwieniem całej błony bębenkowej	Retrakcja z przekrwieniem całej błony bębenkowej
3	Płyn lub krew w jamie bębenkowej	Znaczne krwawienie do jamy bębenkowej
4	Perforacja błony bębenkowej	Hemotympanum
5	----------	Perforacja błony bębenkowej

Leczenie barotraumy ucha środkowego zazwyczaj jest objawowe [1, 50, 54]. Udzielając pierwszej pomocy nurkowi po urazie ciśnieniowym ucha w pierwszej kolejności należy zabezpieczyć ucho jałowym opatrunkiem oraz podać doustnie środki p/bólowe. Wskazana jest jak najszybsza konsultacja laryngologiczna celem ustalenia rozpoznania klinicznego i szybkiego wdrożenia postępowania terapeutycznego.
Podstawowym kryterium leczenia zachowawczego jest uzyskanie wyrównania ciśnienia w uchu środkowym poprzez farmakologiczne przywrócenie drożności trąbki słuchowej.

W tym celu najczęściej stosuje się obkurczające krople donosowe zawierające m.in. fenylefrynę i oksymetazolinę oraz areozole ze sterydami donosowymi [50]. Podobne obkurczające działanie można uzyskać poprzez zastosowanie doustnych leków obkurczających, które zawierają m.in. psudoefedrynę.
Jeżeli w wyniku urazu ciśnieniowego doszło do perforacji błony bębenkowej, zalecana jest również antybiotykoterapia, która ma zapobiec infekcji ucha środkowego [54].

W ok. 80-90% perforacje błony bębenkowej goją się samoistnie w okresie 3 m-cy i nie wymagają interwencji chirurgicznej [1, 50, 54, 62]. Oprócz wspomnianej wcześniej farmakoterapii przy uszkodzeniach błony bębenkowej wskazane jest odpowiednie postępowanie chorego polegające m.in. na odpoczynku, unikania wysiłku fizycznego i sytuacji zwiększających ciśnienie w uchu (przedmuchiwanie trąbek słuchowych, kichanie, forsowane wydmuchiwanie nosa).
Zdecydowana większość nurków może wrócić do nurkowania po upływie ok. 3-6 m-cy od epizodu barotraumy ucha środkowego. Podstawowym warunkiem uzyskania pełnej zdolności do nurkowania jest całkowite wygojenie się błony bębenkowej, oraz wykluczenie bądź wyleczenie innych schorzeń zwiększających ryzyko epizodów barotraumy ucha środkowego w przyszłości (m.in. dysfunkcje trąbek słuchowych, znaczne skrzywienie przegrody nosa, alergiczny nieżyt nosa, przewlekłe zapalenie zatok itp.) [50, 54]. W przypadkach powstania przetrwałej perforacji błony bębenkowej (okres obserwacji min. 6 m-cy) , uszkodzenia łańcucha kosteczek słuchowych, pogorszenia słuchu, zaburzeń narządu równowagi, zalecane jest leczenie operacyjne [50, 55].

Najważniejszym warunkiem powrotu do nurkowania po operacjach ucha środkowego jest „szczelność" i pełne wygojenie błony bębenkowej oraz prawidłowa funkcja trąbki słuchowej. Zmiany zanikowe błony bębenkowej, przetrwałe perforacje, przedłużony drenaż ucha środkowego i inne schorzenia predysponujące do powstania barotraumy ucha, są przeciwskazaniem do schodzenia po wodę.
Przed podjęciem ostatecznej decyzji o ponownej zdolności do nurkowania po leczeniu chirurgicznym ucha środkowego, zalecana jest obserwacja pacjenta pod kątem zaburzeń słuchu i układu równowagi [29, 53]. Wymaga to regularnych konsultacji lekarza laryngologa i badań audiometrycznych.

Każdy pacjent po leczeniu operacyjnym ucha, pomimo uzyskania orzeczenia lekarskiego o zdolności do nurkowania, powinien być świadomy wysokiego ryzyka ponownego uszkodzenia ciśnieniowego ucha środkowego. W przypadku wystąpienia problemów z przedmuchem, zawrotów głowy, narastającego bólu ucha, nurkowanie musi

zostać niezwłocznie zakończone. Nawracające i narastające podczas zanurzania objawy podrażnienia ucha, mogą być przyczyną trwałej dyskwalifikacji do nurkowania.

I.4.2. Zapobieganie powstaniu urazu ciśnieniowego ucha

Odpowiednie wyrównanie ciśnienia w przestrzeniach powietrznych ucha, za pomocą skutecznych prób i manewrów stosowanych przez nurków pod wodą, zabezpiecza ucho środkowe i wewnętrzne przed barotraumą [1]. Podstawowym warunkiem skutecznego wyrównania ciśnienia w uchu środkowym, jest prawidłowa funkcja i drożność trąbki słuchowej. Prewencja jest kluczem dla urazu ciśnieniowego ucha [55], dlatego też każdy nurek powinien zdawać sobie sprawę z faktu, że nie powinien nurkować w przypadku schorzeń powodujących dysfunkcje trąbek słuchowych t.j. ostre i przewlekłe infekcje górnych dróg oddechowych (GDO), ostre i przewlekłe choroby ucha środkowego, istotne skrzywienie przegrody nosa, przerost małżowin nosowych itp.

Stosowane przez niektórych nurków środki farmakologiczne polepszające drożność trąbek słuchowych mają zazwyczaj działanie krótkotrwałe, a w niektórych sytuacjach mogą wręcz przyczynić się do urazu ciśnieniowego ucha. W przypadku niedrożności nosa, próba „oszukania organizmu", poprzez stosowanie bezpośrednio przed nurkowaniem kropli obkurczających błonę śluzową nosa, może spowodować powstanie tzw. blokady wstecznej i zwiększyć ryzyko urazu ciśnieniowego ucha podczas wynurzania [90].

W ostatnim czasie pojawiają się publikacje o zastosowaniu pod wodą donosowych kropli obkurczających i ich korzystnym wpływie na wyrównanie ciśnienia w uchu środkowym przy problemach z przedmuchem [59]. Opisywany sposób podawania kropli do nosa wymaga od nurka odpowiedniej techniki i wytrenowania, dlatego też nie jest on zalecany do stosowania dla nurkujących amatorów.

Każdy nurek przed nurkowaniem powinien sprawdzić drożność trąbek słuchowych. Podczas wykonywania tzw. przedmuchu powinno się stosować najlepiej opanowaną i efektywną technikę wyrównania ciśnienia w uchu środkowym. Część autorów opracowań naukowych rekomenduje stosowanie techniki BTV, jako najbardziej fizjologicznej metody kontrolowanego wyrównywania ciśnienia w uchu środkowym [29].

W trakcie nurkowania należy dopasować szybkość zanurzania i wynurzania do zdolności wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego. Jeżeli w trakcie zanurzania pojawi się ból ucha i problemy z uzyskaniem przedmuchu, należy zmniejszyć głębokość i ponownie wykonać manewry wyrównujące ciśnienie w uchu środkowym.

Nie wolno „na siłę” wyrównywać ciśnienia w uchu środkowym, ponieważ może to również spowodować uszkodzenie ucha wewnętrznego. Jeżeli takie postępowanie jest nieskuteczne, należy zrezygnować w tym dniu z nurkowania.
W przypadku nawracających problemów z wyrównaniem ciśnienia w uszach, należy zgłosić się do otolaryngologa, celem diagnozy i ustalenia ewentualnej przyczyny dolegliwości, a następnie podjęcia skutecznego leczenia.

Jak wcześniej wspomniano, w patogenezie urazu ciśnieniowego ucha środkowego najważniejsze znaczenie ma dysfunkcja trąbki Eustachiusza, dlatego też zasadnym wydaje się być ustalenie odpowiedniego schematu kwalifikacji lekarskiej nurków bezpośrednio przed nurkowaniem.
Ponieważ w piśmiennictwie fachowym brak jest doniesień mówiących o różnicach czynności błony bębenkowej w zależności od rodzaju nurkowania, a konkretnie od zastosowanego czynnika oddechowego, a także różnic pomiędzy nurkowaniami rzeczywistymi realizowanymi w wodzie a nurkowaniami pozorowanymi w komorze hiperbarycznej, wskazany jest szerszy panel diagnostyczny, poszerzony o badania czynnościowe ucha środkowego i trąbki słuchowej.

W większości dostępnych opracowań naukowych wskazuję się na ważną rolę audiometrii impedancyjnej (tympanometrii), jako prostej metody do subiektywnej oceny stanu ucha środkowego i funkcji trąbki słuchowej u nurkujących. Autorzy przedstawionych publikacji są zdania, że takie postępowanie diagnostyczne stwarza możliwość monitorowania stanu klinicznego ucha środkowego u nurków, ze szczególnym uwzględnieniem wystąpienia ryzyka urazu ciśnieniowego ucha [45, 63, 64, 91-93].

I.5. Audiometria impedancyjna

Audiometria impedancyjna - należy do rutynowych testów w diagnostyce audiologicznej. W praktyce klinicznej jest szeroko stosowana od początku lat 70 XIX wieku, przy czym pierwsze wykorzystanie audiometrii impedancyjnej, jako metody badającej funkcje przewodzące ucha środkowego, miało już miejsce w 1867 r. przez Lucae. W 1919 r. Webster jako pierwszy opracował założenia impedancji akustycznej. Za sprawą duńskiego lekarza Metza, który w 1946 roku opisuje kliniczną przydatność odruchu strzemiączkowego, następuje dynamiczny wzrost zainteresowania tą nową metodą diagnostyczną wśród środowiska medycznego [94, 95]. W 1959r. dwaj Duńczycy

Terkildsen i Thomsen wprowadzają określenie „tympanometria”, które w podobnym znaczeniu używane jest do dnia dzisiejszego [96]. Przedstawione przez nich wyniki pomiarów opisują zależności impedancji akustycznej od zmian ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym. W swoich badaniach wykorzystują skonstruowane w Danii urządzenie Madsen ZO 60 (ryc. 1.14), które jest pierwszym, powszechnie dostępnym elektroakustycznym tympanometrem na świecie.

Ryc. 1.14. Madsen ZO 60- pierwszy na świecie, powszechnie dostępny tympanometr.
Źródło:https://hearingreview.com

Obecnie urządzenia do audiometrii impedancyjnej są powszechnie dostępne i stanowią podstawowe wyposażeniem pracowni audiologicznej i gabinetów otolaryngologicznych, a audiometria impedancyjna jest najbardziej popularną i rozpowszechnioną obiektywną metodą badania słuchu.

Z punktu widzenia lekarza klinicysty, decydujące znaczenie w stosowaniu audiometrii impedancyjnej w procesie diagnostyki zaburzeń słuchu ma jej nieinwazyjność, automatyzacja i krótki czas pomiarów oraz duża wiarygodność diagnostyczna, pokrywająca się z innymi wynikami badań słuchu.

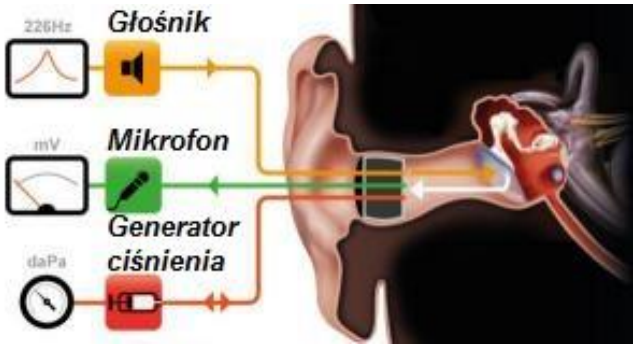
Podstawą pomiarów audiometrii impedancyjnej jest wyznaczenie oporu (tzw. impedancji akustycznej), jaki stanowi dla fali dźwiękowej układ przewodzący ucha środkowego, który obejmuje błonę bębenkową, kosteczki słuchowe oraz układ mięśniowo-więzadłowy w jamie bębenkowej [97].

Z punktu widzenia technicznego do pomiaru impedancji służy mostek impedancyjny (nazywany także mostkiem elektroakustycznym lub tympanometrem), którego budowę jako pierwszy przedstawił w 1934 r. niemiecki naukowiec Schuster [96].

Mostek impedancyjny (elektroakustyczny) zbudowany jest ze specjalnej sondy, którą umieszcza się w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Warunkiem prawidłowego przeprowadzenia badania jest dobre uszczelnienie i zamknięcie przewodu słuchowego zewnętrznego. Służą temu zazwyczaj gumowe uszczelniające nasadki, które zakłada się

na sondę pomiarową.

W głowicy sondy znajdują się trzy kanaliki, z których jeden połączony jest z mikrofonem, drugi z głośnikiem (generuje tzw. ton próbny), a trzeci z systemem wytwarzającym ujemne i dodatnie ciśnienie w przewodzie słuchowym zewnętrznym (ryc. 1.15). Wartości wytwarzanych ciśnień generowane są automatycznie i zależą od modelu tympanometru; zazwyczaj obejmują zakres od -200 daPa (-2,0 kPa) do +200 daPa (+2,0 kPa).



Ryc. 1.15. Schemat budowy głowicy sondy tympanometru.
Źródło:https:// www.cochlea.eu

W badaniach najczęściej stosuje się ton próbny o częstotliwości 226 Hz o natężeniu nie przekraczającym zazwyczaj 85 dB SPL (decybele poziomu ciśnienia dźwięku) [38, 94, 95, 97, 98]

Audiometria impedancyjna jest metodą nieinwazyjną, szybką oraz obiektywną i niezależną od woli pacjenta. Pozwala zbadać podatność układu przewodzącego dźwięk na zmiany ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym, a tym samym ocenić funkcję poszczególnych elementów ucha środkowego i stanu połączeń między nimi (trąbka słuchowa, błona bębenkowa, łańcuch kosteczek słuchowych, stawy, więzadła) [38, 71, 94, 95].

Audiometria impedancyjna ze względu na swoją wysoką czułość diagnostyczną, szybkość i nieinwazyjność, znalazła szerokie zastosowanie kliniczne, które obejmuje m.in.:

- ocena drożności i funkcji trąbek słuchowych,
- diagnostyka i ocena leczenia wysiękowego zapalenia ucha środkowego,
- diagnostyka urazów i chorób łańcucha kosteczek słuchowych,
- diagnostyka uszkodzeń nerwu twarzowego,
- diagnostyka różnicowa niedosłuchu odbiorczego- ślimakowego i pozaślimakowego.

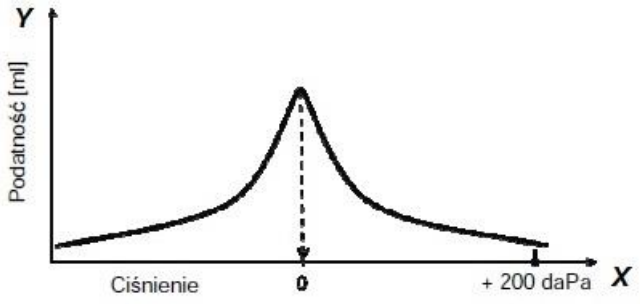
Audiometria impedancyjna obejmuje kilka podstawowych testów, wśród których do najczęściej stosowanych w praktyce klinicznej należą:

- tympanometria,
- pomiar odruchu z mięśnia strzemiączkowego,
- badanie drożności trąbek słuchowych (tzw. test Williams).

I.5.1. Tympanometria

Podstawowy zapis jaki wykonuje się w badaniu audiometrii impedancyjnej to krzywa tympanometryczna, która obrazuje w sposób graficzny podatność błony bębenkowej i ucha środkowego na zmiany ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym.

Wykres prawidłowej krzywej tympanometrycznej przypomina swoim kształtem krzywą Gaussa [97]. Wykres ten (ryc. 1.16) pokazuje zależność podatności ucha środkowego (oś Y) od zmian ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym (oś X).

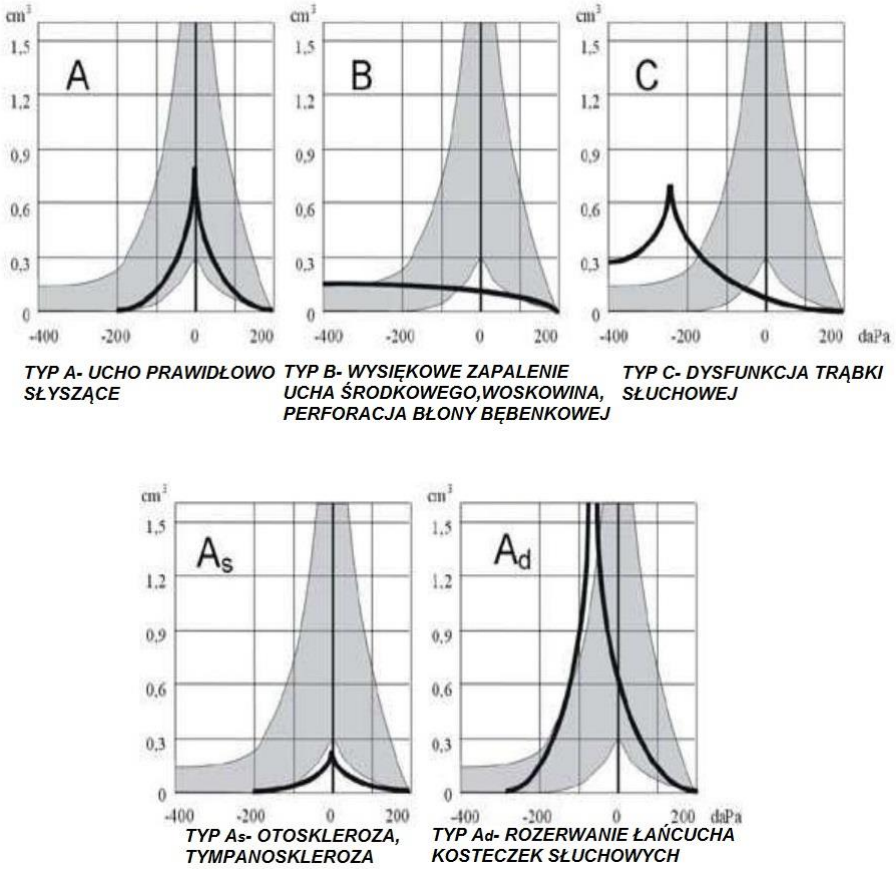


Ryc. 1.16. Krzywa tympanometryczna [97].

Wysokość wierzchołka tympanogramu informuje o maksymalnej podatności ucha środkowego, która występuje w sytuacji wyrównania ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej. Duża podatność świadczy w uproszczeniu, o dużej ruchomości układu przewodzącego ucha środkowego (błona bębenkowa, kosteczki słuchowe, okienka ślimaka), a mała podatność wskazuje analogicznie na niewielką ruchomość [38].

Prawidłowa podatność ucha środkowego zawiera się w granicach 0,3-1,6 cm^3 (ml) [47, 99]. Położenie wierzchołka krzywej tympanometrycznej na osi ciśnień (oś X), informuje o wartości ciśnienia panującego w jamie bębenkowej. Jako normę dla dorosłych przyjmuje się zakres wartości od +100 do -100 mmH_2O (daPa) [94, 95]. Część dostępnych na rynku tympanometrów dodatkowo dokonuje automatycznych pomiarów: gradientu krzywej tympanometrycznej (norma: 48-134 mmH_2O (daPa)) i podatności przewodu słuchowego zewnętrznego (norma: 0,6-2,5 cm^3 (ml)).

W praktyce klinicznej w ocenie tympanogramów najczęściej stosuje się prostą klasyfikację Jergera [100], która opisuje pięć typów tympanogramów (ryc. 1.17):



Ryc. 1.17. Klasyfikacja tympanogramów wg Jergera.

Źródło:https://csim.pl

- typ ,,A"- ucho prawidłowo słyszące,

-typ ,,B"- wykres tympanogramu ma postać lekko unoszącej się linii w kierunku ujemnych ciśnień - jest typowy dla wysiękowego zapalenia ucha środkowego. Może wystąpić także przy perforacji błony bębenkowej, woskowinie w przewodzie słuchowym zewnętrznym,

- typ ,,C"- krzywa tympanometryczna ma prawidłową podatność (wysokość) i jest przesunięta w kierunku ujemnych ciśnień. Wykres charakterystyczny dla dysfunkcji trąbki słuchowej,

- typ ,,As"- wykres jest spłaszczony, o niskiej podatności ale o prawidłowych wartościach ciśnienia w uchu środkowym. Taki typ wykresu może sugerować otosklerozę i tympanosklerozę (stwardnienie błony bębenkowej i ucha środkowego),

- typ „Ad”- wysoka krzywa tympanometryczna, często z niestykajacymi się ze sobą ramionami. Zapis charakterystyczny dla rozerwania łańcucha kosteczek słuchowych i dla nadmiernie wiotkiej błony bębenkowej.

I.5.2. Odruch z mięśnia strzemiączkowego

W większości przypadków klinicznych diagnostyka schorzeń ucha środkowego wykonywana za pomocą tympanometrii nie stwarza dla otolaryngologa większych trudności. Wyjątkiem mogą być schorzenia we wczesnych okresie zaawansowania klinicznego, jak np. otoskleroza, gdzie tympanogram może mieć prawidłowy kształt. W takich sytuacjach wątpliwości klinicznych, pomocne może być badanie odruchu z mięśnia strzemiączkowego [97].

Odruch z mięśnia strzemiączkowego jest mimowolnym odruchem obronnym, chroniącym ucho przed nagłymi i zbyt głośnymi dźwiękami. Mechanizm obronny działania odruchu mięśnia strzemiączkowego uruchamiany jest w wyniku działania bodźca akustycznego o wysokim natężeniu i polega na mimowolnym skurczu mięśnia z następowym usztywnieniem łańcucha kosteczek słuchowych, co wiąże się ze spadkiem podatności ucha środkowego. Taka sytuacja zmniejsza energię przenoszenia fali dźwiękowej przez ucho środkowe do ucha wewnętrznego, co tym samym zabezpiecza ucho przed urazem akustycznym. Celem badania jest sprawdzenie czy odruch z mięśnia strzemiączkowego występuje oraz wyznaczenie tzw. progu odruchu strzemiączkowego, czyli najniższego natężenia dźwięku, które powoduje skurcz mięśnia strzemiączkowego. Dla uszu zdrowych próg odruchu kształtuje się na poziomie 70-100 dB powyżej progu słyszenia [94]

Współczesne audiometry impedancyjne mają możliwość automatycznego wywoływania i rejestracji odruchu strzemiączkowego. Zapis z przeprowadzonego badania jest najczęściej przedstawiany w postaci graficznej.

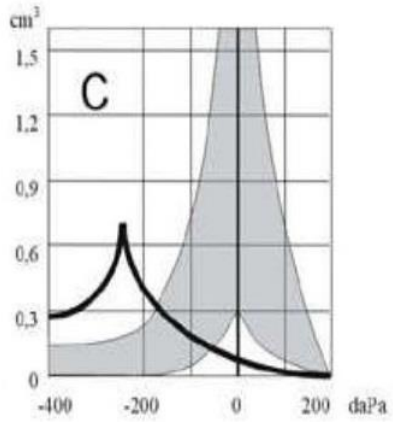
Badanie odruchów z mięśnia strzemiączkowego ma zastosowanie kliniczne w diagnostyce różnicowej i rozpoznaniu takich schorzeń jak:

- otoskleroza i inne schorzenia ucha środkowego przebiegające ze zmniejszeniem ruchomości kosteczek słuchowych- w tych przypadkach zazwyczaj odruch nie występuje,
- porażenie nerwu twarzowego- określenie lokalizacji uszkodzenia nerwu,
- niedosłuch ślimakowy i pozaślimakowy,
- neuropatie słuchowe, stwardnienie rozsiane.

I.5.3. Badanie drożności trąbek słuchowych

Podstawą bezpiecznego nurkowania i zapobiegania ryzyka urazu ciśnieniowego ucha, jest sprawdzenie drożności trąbek słuchowych. W tym celu nurkowie wykonują przed zanurzeniem tzw. „przedmuch", który polega na zastosowaniu technik wcześniej opisanych manewrów wyrównujących ciśnienie w uchu środkowym. Brak prawidłowego wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego stwarza ryzyko barotraumy i powinno dyskwalifikować nurka ze schodzenia pod wodę.

Zgodnie ze wspomnianym wcześniej podziałem tympanogramów, o niedrożności trąbki słuchowej mówimy wówczas, gdy wartość podatności (wysokość krzywej) jest prawidłowa, natomiast krzywa tympanometryczna jest przesunięta w kierunku ciśnień ujemnych (typ C – ryc. 1.18).



Ryc. 1.18. Tympanogram typ C- dysfunkcja (niedrożność, nieżyt) trąbki słuchowej.
Źródło:https://csim.pl

U nurków, którzy zgłaszają problemy z wykonaniem manewrów wyrównujących ciśnienie w uchu środkowym, zasadnym wydaje się wykonanie dodatkowych testów tympanometrycznych oceniających drożność trąbek słuchowych.

Główny założeniem testów oceny drożności trąbek słuchowych (ang. *Eustachian Tube Function Test*- ETF) jest ocena przesunięć krzywych tympanometrycznych na osi odciętych układu (oś X) podczas inicjowanych przez badanego zmian ciśnień w jamie bębenkowej. Są to zatem badania czynnościowe, a ich wykonanie wymaga odpowiedniej współpracy z badanym.

W praktyce klinicznej najczęściej do oceny drożności trąbek słuchowych przy zachowanej błonie bębenkowej, stosuje się test Williams [94, 95, 101, 102].

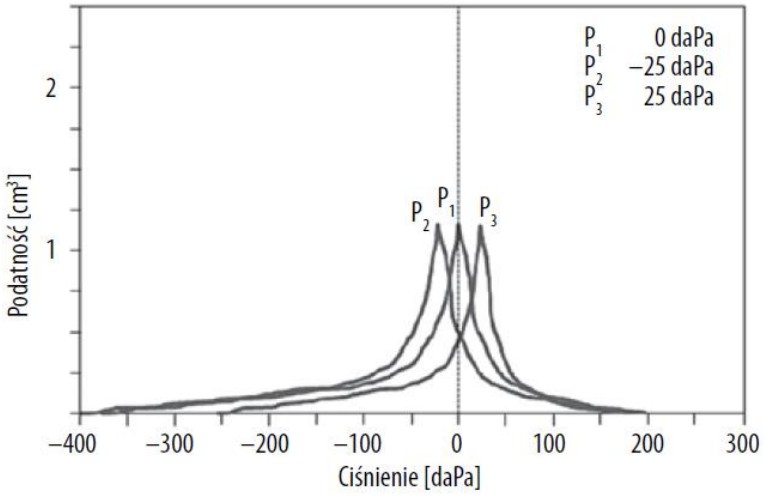
Wykonanie tego testu obejmuje trzy etapy:

Etap I- wyznaczenie ciśnienia w jamie bębenkowej poprzez wykonanie standardowego badania tympanometrycznego (ryc. 1.19- krzywa- P1),

Etap II- badany wykonuje próbę Toynbee'ego (przełknięcie śliny przy jednoczesnym zatkaniu nos). Konsekwencją tego manewru jest wytworzenie ujemnego ciśnienia w jamie bębenkowych i przesunięcie krzywej tympanometrycznej w lewo, w kierunku ujemnego ciśnienia (ryc. 1.19- krzywa- P2),

Etap III- badany wykonuje próbę Valsalvy (wydech powietrza przy zamkniętych ustach i zatkanym nosie). Powoduje to wzrost ciśnienia w jamie bębenkowej i przesunięcie krzywej tympanometrycznej w prawo, w kierunku wartości dodatnich ciśnienia (ryc. 1.19- krzywa- P3).

Za wynik prawidłowy testu Wiliams przyjmuję się różnicę ciśnień, pomiędzy wykresami tympanometrycznymi P1 a P2 i P3, mieszczącą się w granicach ± 25 daPa (mmH_2O) [103].



Ryc. 1.19. Test Williams dla ucha środkowego z prawidłową drożnością trąbki słuchowej: różnica ciśnień, pomiędzy wykresami tympanometrycznymi P1 a P2 i P3, zawiera się w granicach ± 25 daPa [101].

Testy oceniające drożność trąbki słuchowej zajmują istotne miejsce w praktyce audiologiczno-laryngologicznej i stanowią ważny element diagnostyki uzupełniającej przy dysfunkcjach trąbek słuchowych.

Meyer i wsp. [104] oraz Jansen i wsp. [105] opisali zmiany tympanometryczne jakie zarejestrowali podczas testów oceny drożności trąbek słuchowych (ETF) u nurków rekreacyjnych podczas wielokrotnych nurkowań w wodzie słodkiej i słonej. Autorzy publikacji w podsumowaniu swoich badań wskazują na istotną zależność występowania niskiej podatności ucha środkowego (obniżony szczyt krzywej tympanometrycznej) oraz nieprawidłowych wyników testów ETF u nurków z wysokim ryzykiem wystąpienia urazu ciśnieniowego ucha środkowego.

Do podobnych wniosków doszli Georgiev i Shopov [106], którzy wykonywali pomiary tympanometryczne wraz z testem drożności trąbek słuchowych u 35 profesjonalnych nurków sprężanych w komorze hiperbarycznej do poziomu ciśnienia 2,2 ATA w ciągu 1 minuty. W podsumowaniu wyników swoich badań autorzy opracowania sugerują, że uzyskana w teście ETF różnica ciśnień w zapisie tympanometrycznym na poziomie m.in. 20 daPa, warunkuje prawidłową barofunkcję trąbki słuchowej, co może być wykorzystywane w badaniach skriningowych podczas wstępnej kwalifikacji do nurkowania.

II. CEL PRACY

Nadrzędnym celem pracy była ocena wpływu wykonywanych nurkowań na fizjologiczny i anatomiczny stan błony bębenkowej oraz ucha środkowego w zależności od technologii nurkowania, wykonywana w warunkach rzeczywistych i pozorowanych nurkowań.

Cele szczegółowe zakładały:

- Ocena przydatności testów audiometrii impedancyjnej do rejestracji zmian ciśnienia i podatności ucha środkowego przed i po nurkowaniu (ekspozycji hiperbarycznej) u osób nurkujących i osób bez doświadczenia nurkowego.

- Możliwość wykorzystania audiometrii impedancyjnej w procedurze natychmiastowej oceny zdolności badanego nurka do wykonywania zadań pod wodą (w danym dniu) z uwzględnieniem wystąpienia ryzyka urazu ciśnieniowego ucha środkowego.

- Monitorowanie stanu zdrowia nurków wojskowych, z uwzględnieniem wystąpienia ryzyka urazu ciśnieniowego ucha w zależności od stażu pracy i doświadczenia zawodowego, technologii i warunków nurkowania oraz obciążenia schorzeniami i dolegliwościami o podłożu laryngologicznym.

III. MATERIAŁ

Badania były prowadzone od 06.08.2017 do 13.08.2019 z udziałem 137 zdrowych ochotników podzielonych na grupy:

- Nurkowie wojskowi (76 osób)- uczestniczący w rutynowym szkoleniu nurkowym w basenach szkoleniowych Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego (OSNiP WP) oraz szkoleniu w morzu.
- Nurkowie Państwowej Straży Pożarnej (PSP- 23 osoby)- uczestnicy nurkowań pozorowanych w komorze hiperbarycznej w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (KTPP AMW).

Grupę kontrolną stanowiło:

- 38 żołnierzy zawodowych i podchorążych szkół wojskowych- zdrowi ochotnicy bez doświadczenia nurkowego, poddawani ekspozycji hiperbarycznej podczas testu ciśnieniowego z inhalacją tlenową do głębokości 10 m w komorze hiperbarycznej w KTPP AMW oraz OSNiP WP.

Do badania byli włączeni wszyscy chętni i zdrowi nurkowie wojskowi i Państwowej Straży Pożarnej oraz żołnierze zawodowi i podchorążowie szkół wojskowych uczestniczący w rutynowych testach i zajęciach szkoleniowych.

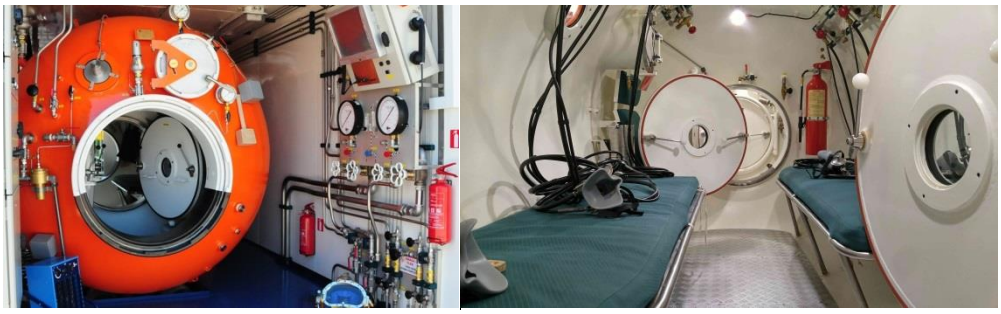
Nurkowie wojskowi posiadali aktualne orzeczenia o zdolności do służby jako nurek, wydane przez Wojskową Komisję Morsko-Lekarską, natomiast nurkowie-strażacy posiadali aktualne orzeczenia o zdolności do wykonywania działań jako nurek MSWiA wydane przez lekarza orzecznika na podstawie przepisów obowiązujących w MSWiA.

Z badań wykluczeni byli ochotnicy z ostrymi i przewlekłymi chorobami ogólnoustrojowymi, ze szczególnym uwzględnieniem dolegliwości i chorób laryngologicznych m.in.:

- ostre i przewlekłe schorzenia ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego (m.in. infekcje, perforacje błony bębenkowej, wycieki z ucha, niedosłuch, zawroty głowy itp.).

- ostre i zaostrzone przewlekłe schorzenia nosa i zatok przynosowych (m.in. ostre i przewlekłe nieżyty błony śluzowej, złamania, zaburzenia drożności nosa, zaburzenia węchu, krwawienia z nosa, bóle głowy itp.)

Badania prowadzone były podczas nurkowań w wodzie otwartej, w wodzie w komorze hiperbarycznej oraz podczas „suchego" sprężania w komorze hiperbarycznej. Pomiary były wykonywane w czasie rutynowych zajęć i szkoleń w Ośrodku Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego w Gdyni (OSNiP WP) oraz w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (KTPP AMW).
W OSNiP WP szkolenia i zajęcia były prowadzone: w komorze hiperbarycznej (do głębokości 8 i 30 m- ryc. 3.1), w basenie do prac podwodnych (do głębokości 4 m- ryc. 3.2), w basenie szkoleniowym (do głębokości 10 m-ryc. 3.2) oraz w morzu (do głębokości 5 i 50 m).



Ryc. 3.1. Komora hiperbaryczna Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków (OSNiP) Wojska Polskiego w Gdyni.
Źródło: własne

Ryc. 3.2. Basen szkoleniowy i do prac podwodnych OSNiP WP w Gdyni.
Źródło: https://zoom.mon.gov.pl

Szkolenia nurkowe w KTPP AMW odbywały się w większości w warunkach pozorowanych w Doświadczalnym Głębokowodnym Kompleksie Nurkowym (DGKN-120- ryc. 1.5) na różnych głębokościach, maksymalnie dochodzących do 52 m.

Ryc. 3.3. Doświadczalny Głębokowodny Kompleks Nurkowy (DGKN-120) Katedry Technologii Prac Podwodnych AMW w Gdyni.
Źródło: https://amw.gdynia.pl

W zależności od warunków technicznych prowadzonego szkolenia, uczestnicy badania używali podczas zajęć różnych czynników oddechowych: powietrze, tlen i mieszaniny oddechowe.
Grupa badanych charakteryzowała się również zróżnicowanym doświadczeniem zawodowym i nurkowym, począwszy od osób nigdy nie nurkujących, a skończywszy na bardzo doświadczonych nurkach (staż służby jako nurek- powyżej 8 lat).
Wszystkie te wymienione wyżej aspekty brano pod uwagę w trakcie analizy wyników przeprowadzonych badań.

Projekt badań uzyskał pozytywną opinie Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Gdańsku.

Poniżej przedstawiono szczegółowe zestawienie i opis szkoleń nurkowych, podczas których wykonywano badania:

Miejsce szkolenia:
1. Ośrodek Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego w Gdyni (OSNiP WP)
w którym realizowano w dniach:
a) 25.07.2018- szkolenie nurkowe w basenie szkoleniowym do głębokości maks. 10 m.
Plan nurkowania: zejście na głębokość 8 m w czasie 1 min., czas zanurzenia 40 min.

Nurkowania w zestawie nurkowym NURPAK-3. Stosowany czynnik oddechowy--powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 7 żołnierzy- nurków zawodowych.

b) 23.01.2019- trening ciśnieniowy z inhalacją tlenową w komorze dekompresyjnej do głębokości 8 mH_2O z czasem przebywania na tlenie przez 20 min. Sprężanie z prędkością nie szybszą niż 5m/min. Dekompresja z użyciem powietrza jak czynnika oddechowego do powierzchni z szybkością maksymalną nie przekraczającą 5m/min. 1 minutowa stacja dekompresyjna na głębokości $3mH_2O$. W szkoleniu uczestniczyło 8 żołnierzy zawodowych wchodzących w skład obsady wozów bojowych. Uczestnicy szkolenia – bez doświadczenia nurkowego.
c) 29.01.2019- trening ciśnieniowy połączony z testem tolerancji tlenowej w komorze dekompresyjnej. Warunki ekspozycji: sprężanie z szybkością od 12m/min do 20m/min na głębokość 30 mH_2O, następnie dekompresja z szybkością nie większą niż 10m/min do głębokości 18 mH_2O z czasem przebywania na tlenie 40 min. Następnie ponowna dekompresja z użyciem powietrza jak czynnika oddechowego do powierzchni z szybkością maksymalną nie przekraczającą 10m/min. 1 minutowa stacja dekompresyjna na głębokości $3mH_2O$. W szkoleniu uczestniczyło 9 żołnierzy zawodowych- uczestników kursu kwalifikacji młodszego nurka.
d) 14.02.2019- szkolenie nurkowe w basenie szkoleniowym- ćwiczenie sytuacji awaryjnych pod wodą. Plan nurkowania: zejście na głębokość 8 m w czasie 1 min., czas zanurzenia 40 min. Nurkowania w zestawie nurkowym NURPAK-3. Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 8 żołnierzy zawodowych, uczestników kursu kwalifikacji młodszego nurka.
e) 07.03.2019- szkolenie nurkowe w basenie szkoleniowym- ćwiczenie sytuacji awaryjnych pod wodą. Plan nurkowania: zejście na głębokość do 10 m, czas zanurzenia 30 min. Nurkowania prowadzone w hełmie nurkowym Kirby Morgan 37 (KM-37). Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 8 żołnierzy zawodowych, uczestników kursu kwalifikacji młodszego nurka.
f) 10.05.2019- szkolenie nurkowe w morzu do głębokości 50 m, realizowane na wodach otwartych Zatoki Gdańskiej w ramach kursu doskonalącego na kwalifikacje nurka do 50m. Nurkowania w hełmie nurkowym Kirby Morgan 37 (KM-37). Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 8 żołnierzy--nurków zawodowych.
g) 29.05.2019- szkolenie nurkowe w basenie do prac podwodnych w ramach kursu doskonalącego na kwalifikacje nurka do 50 m. Plan nurkowania: zejście

na głębokość 4 m i przez 20-25 min. wykonywanie prac podwodnych- cięcie blach stalowych. Nurkowania prowadzone w hełmie nurkowym Kirby Morgan 37 (KM-37). Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 6 żołnierzy- nurków zawodowych.

h) 06.08.2019 i 13.08.2019- szkolenia nurkowe w morzu do głębokości 5 m, realizowane z nabrzeża Portu Wojennego Gdynia – Oksywie. Plan nurkowania: zejście na głębokość 5 m, czas zanurzenia 40 min. Nurkowania w zestawie nurkowym NURPAK-3. Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniach uczestniczyła grupa 7 podchorążych, studentów 3- roku Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

2. Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (KTPP AMW), w której realizowano w dniach:

a) 06.08.2017- szkolenie nurkowe prowadzone w symulatorze nurkowania DGKN-120 (Doświadczalny Głębokowodny Kompleks Nurkowy). Plan nurkowania: zejście na głębokość do 20 mH_2O, czas przebywania 8 min. Nurkowania powtórzeniowe (8x/24 h) Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 8 doświadczonych nurków Państwowej Straży Pożarnej (PSP).

b) 08.02.2018- trening ciśnieniowy nurków głębokowodnych w basenie wewnątrz kompleksu DGKN-120. Plan nurkowania (zał. nr 3.1): zejście do głębokości 52 mH_2O z czasem przebywania na mieszaninie oddechowej (trimiks)- 14 min. Planowany czas nurkowania 127 min. Nurkowania w zestawie nurkowym NURPAK-3. Stosowany czynnik oddechowy- mieszanina. Uczestnicy szkolenia--8 doświadczonych nurków PSP.

c) 06-07.11.2018- szkolenie nurkowe prowadzone w symulatorze nurkowania DGKN--120. Plan nurkowania (zał. nr 3.2): zejście na głębokość do 42 mH_2O, planowany czas nurkowania 50 min. Nurkowania powtórzeniowe w asyście nurka zabezpieczającego. Stosowany czynnik oddechowy- powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 4 doświadczonych żołnierzy- nurków zawodowych.

d) 19.01.2019 i 23.02.2019- trening ciśnieniowy z inhalacją tlenową w komorze dekompresyjnej DGKN-120 do głębokości 10 mH_2O z czasem przebywania na tlenie przez 15 min. Sprężanie i rozprężanie z prędkością nie szybszą niż 5m/min. Dekompresja do powierzchni z użyciem powietrza jako czynnika oddechowego. W szkoleniach uczestniczyło 15 podchorążych 1-go i 2-do roku studiów oraz

15 słuchaczy kursu oficerskiego Akademii Wojsk Lądowych w Wrocławiu. Uczestnicy szkoleń – bez doświadczenia nurkowego.

e) 25.04.2019- szkolenie nurkowe prowadzone w symulatorze nurkowania DGKN-120. Plan nurkowania (zał. nr 3.3): zejście w ciągu 5 min na głębokość do 50 mH_2O, z czasem przebywania na tej głębokości- 14 min. Stosowany czynnik oddechowy--powietrze. W szkoleniu uczestniczyła grupa 8 doświadczonych żołnierzy- nurków zawodowych.
f) 26.04.2019- trening ciśnieniowy połączony w komorze dekompresyjnej DGKN-120. Warunki ekspozycji: sprężanie z szybkością od 12m/min do 20m/min na głębokość 30 mH_2O. Następnie dekompresja z użyciem powietrza jak czynnika oddechowego do powierzchni z szybkością maksymalną nie przekraczającą 10m/min. W szkoleniu uczestniczyło 5 podchorążych, studentów 3- roku Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.
g) 30.04.2019- test tolerancji tlenowej w komorze dekompresyjnej DGKN-120. Warunki ekspozycji: sprężanie do głębokości 18 mH_2O z czasem przebywania na tlenie 40 min. Następnie dekompresja z użyciem powietrza jak czynnika oddechowego do powierzchni z szybkością maksymalną nie przekraczającą 10m/min. W szkoleniu uczestniczyła grupa 5 podchorążych, studentów 3-go roku Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.
h) 06.06.2019- szkolenie nurkowe prowadzone w symulatorze nurkowania DGKN-120. Plan nurkowania: zejście na głębokość do 30 mH_2O, z czasem oddychania powietrzem przez 30 min. W szkoleniu uczestniczyła grupa 12 doświadczonych nurków PSP.

IV. METODY

Każdy uczestnik przed przystąpieniem do zajęć, został poinformowany w formie ustnej i pisemnej (formularz „Informacja o badaniu dla pacjenta”- zał. nr 4.1) o celu i przebiegu prowadzonych badań. Do grupy badawczej i kontrolnej zostali włączeni wszyscy ochotnicy, którzy wyrazili pisemną zgodę na świadomy i dobrowolny udział w badaniu („Formularz świadomej zgody na udział w badaniu”- zał. nr 4.2).

U wszystkich uczestników badania przeprowadzono podmiotowe i przedmiotowe badanie lekarskie, wykonywane zgodnie z arkuszem badania nurka wg zał. nr 8 do Rozp. MON z dn. 25 kwietnia 2018r. Dz. Ust. 2018 poz. 1108 (zał. nr 4.3). W przeprowadzonym wywiadzie lekarskim dodatkowo uwzględniano wiek ochotnika, doświadczenie nurkowe, choroby o podłożu laryngologicznym leczone w przeszłości, oraz dolegliwości zgłaszane przez badanych w trakcie szkolenia. Zebrane informację zapisywano w formie tabelarycznej (zał. nr 4.4).

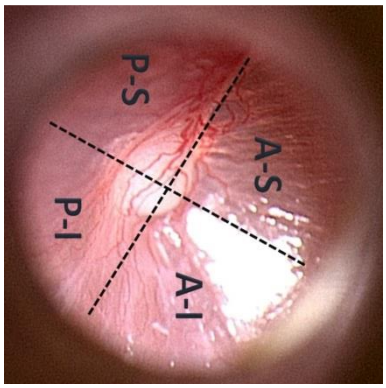
Bezpośrednio przed nurkowaniem (sprężaniem w komorze) i po nurkowaniu (sprężaniu) u każdego z uczestników badania przeprowadzano ocenę otoskopową ucha zewnętrznego i środkowego oraz wykonywano badanie audiologiczne- audiometrię impedancyjną uzupełnioną o testy drożności trąbek słuchowych.

W badaniach wykorzystywano otoskop KaWe Piccolight z ksenonowym źródłem światła i 3- krotnie powiększającą lupą. Badania otoskopowe były wykonywane przed i po nurkowaniu (sprężaniu w komorze), w pozycji siedzącej i trwały kilka minut (ryc. 4.1).

Ryc. 4.1. Otoskop KaWe Piccolight i ocena otoskopowa ucha uczestnika badania.
Źródło: https://kawemed.com ; własne

Celem zapewnienia powtarzalności przebiegowi badania u każdego uczestnika otoskopia była wykonywana wg wcześniej ustalonego schematu. W pierwszej kolejności było badane ucho prawe, a następnie ucho lewe. Wziernik otoskopu wprowadzano do przewodu słuchowego zewnętrznego na głębokość ok. 1-2 cm, aż do miejsca, w którym przewód chrzęstny przechodzi w przewód kostny. W dalszym etapie badania odciągano małżowinę uszną do tyłu i góry. Manewr ten umożliwia wyprostowanie przewodu słuchowego celem lepszego uwidocznienia błony bębenkowej. Badając ucho prawe, małżowinę uszną trzymano lewą ręką, a prawą otoskop. W przypadku oceny ucha lewego postępowano analogicznie, z tą różnicą, że w lewej ręce trzymano otoskop, a w prawej małżowinę uszną. Aby prawidłowo ocenić wygląd błony bębenkowej w całości, u badanych wykonywano ruchy głowy: a) odchylano głowę ku tyłowi- ocena części wiotkiej błony bębenkowej; b) skręcano głowę badanego do tyłu- ocena tylnych kwadrantów błony bębenkowej i tylnej ściany przewodu słuchowego; c) odchylano głowę do dołu- ocena dolnych kwadrantów błony bębenkowej; d) skręcano głowę badanego ku przodowi- ocena przednich kwadrantów błony bębenkowej i przedniej ściany przewodu słuchowego. Jeżeli w przewodzie słuchowym zewnętrznym znajdowały się masy woszczyny, utrudniające ocenę otoskopową błony bębenkowej, wypłukiwano je przy użyciu strzykawki z ciepłą woda lub usuwano pod kontrolą wzroku za pomocą haczyka usznego.

Podczas oceny otoskopowej ucha szczególną uwagę zwracano na występowanie stanów zapalnych i drożność przewodu słuchowego zewnętrznego oraz na wygląd błony bębenkowej ze szczególnym uwzględnieniem występowania przekrwienia, pogrubienia, blizny, perforacji, retrakcji, wysięku. Wszystkie zaobserwowane zmiany w otoskopii opisywano z uwzględnieniem podziału błony bębenkowej na kwadranty (ryc. 4.2).

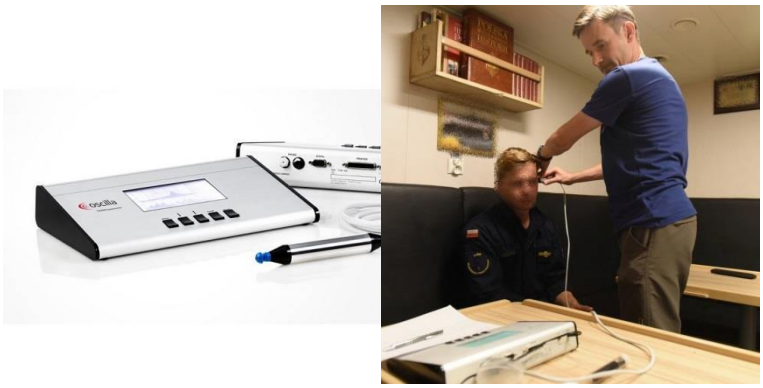


Ryc. 4.2. Prawidłowa błona bębenkowa z podziałem na kwadranty: A-S- kwadrant przednio-górny ; A-I- kwadrant przednio-dolny ; P-S- kwadrant tylno-górny ; P-I- kwadrant tylno-dolny.

Źródło: https://atlasotoskopii.pl

W ocenie zmian otoskopowych błony bębenkowej ucha środkowego po nurkowaniu (sprężaniu w komorze) stosowano 5-cio stopniową skalą Teedsa (tab. 1.1). Wszystkie spostrzeżenia i uwagi z przeprowadzanego badania odnotowywano w tabeli w rubryce „uwagi" (zał. nr 4.4).

Po ocenie otoskopowej ucha przed i po nurkowaniu (sprężaniu w komorze) u każdego uczestnika badania wykonywano obustronne (ucho prawe- UP i lewe- UL) pomiary tympanometryczne metodą audiometrii impedancyjnej. Badanie przeprowadzane było w pozycji siedzącej i trwało kilka minut. Do pomiarów wykorzystywano tympanometr skriningowy duńskiej firmy Oscilla model TSN-300 (ryc. 4.3).



Ryc. 4.3. Tympanometr Oscilla TSM-300 i przebieg pomiarów tympanometrycznych wykonywanych u uczestnika badania.

Źródło: https://oscillaservice.com ; własne

Sondę pomiarową, uszczelnioną gumową zatyczką, umieszczano w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Generowała ona ton próbny o częstotliwości 226 Hz i natężeniu 85 dB SPL, oraz wytwarzała ujemne i dodatnie ciśnienie w przewodzie słuchowym w zakresie od -300 do +200 daPa. Postępy badania były wyświetlane na wbudowanym, ciekłokrystalicznym monitorze i zapisywane do wbudowanej pamięci urządzenia. Wyniki przeprowadzonego badania były obrazowane w postaci graficznej (wykres krzywej tympanometrycznej) oraz numerycznej.

Urządzenie wykonywało każdorazowo automatyczny pomiar:

- ciśnienia ucha środkowego (ang. *middle ear pressure*- MEP)- mierzonego w dekapascalach (daPa). Jako normę dla grupy badanej przyjmowano zakres od -100 do +100 daPa [94, 95],
- podatności ucha środkowego (ang. *compilance*- COM)- mierzonej w mililitrach (ml). Przyjęta norma: 0,3-1,6 ml [47, 99].

W ocenie wykresów krzywej tympanometrycznej zastosowano opisaną już wcześniej, klasyfikację Jergera z podziałem na pięć typów tympanogramów: typ A, As, Ad, B i C (ryc. 1.18).

Po zakończonych pomiarach audiometrii impedancyjnej i uzyskaniu zapisu graficznego krzywej tympanometrycznej, u każdego uczestnika badania wykonywano test drożności trąbek słuchowych (ang. *Eustachian Tube Function* - ETF).

W badaniach stosowano test Williams, który wykorzystuje zjawisko zmniejszenia i zwiększenia ciśnienia w jamie bębenkowej, podczas wykonywania przez badanego manewrów przedmuchiwania trąbek słuchowych. Jest to badanie czynnościowe i wymagające odpowiedniej współpracy z badanym. Test przeprowadzano w trzech etapach, podczas których każdorazowo wykonywano pomiary tympanometryczne.

- Etap I- wyznaczanie ciśnienie w jamie bębenkowej poprzez wykonanie, opisanego wcześniej, standardowego badania tympanometrycznego.
- Etap II- badany wykonywał próbę Toynbee'ego (przełykał ślinę przy jednoczesnym zatkaniu nos). Konsekwencją tego manewru, przy drożnej trąbce słuchowej, było powstanie ujemnego ciśnienia w jamie bębenkowej i przesunięcie krzywej tympanometrycznej w lewo, w kierunku ujemnych wartości ciśnienia,
- Etap III- badany wykonywał próbę Valsalvy (wydychał powietrze przy zamkniętych ustach i zatkanym nosie). W przypadku prawidłowej funkcji trąbki słuchowej podczas tego manewru dochodziło do wzrostu ciśnienia w jamie bębenkowej i przesunięcia krzywej tympanometrycznej w prawo, w kierunku dodatnich wartości ciśnienia.

Za wynik prawidłowy wykonywanego testu Wiliams przyjmowano różnicę ciśnień pomiędzy wykresami tympanometrycznymi, mieszczącą się w granicach ± 25 daPa (ryc. 1.20).

Otrzymane wyniki pomiarów tympanometrycznych dokumentowano w formie tabelarycznej oraz cyfrowej, a wyniki testu drożności trąbek słuchowych odnotowywano w tabeli badania w rubryce ,,uwagi".

Do celu analizy uzyskanych wyników badań i oceny wzajemnych związków przyczynowych oznaczono badaną grupę ochotników z podziałem na:

- podgrupy osób z uwzględnieniem doświadczenia nurkowego (rekreacyjnego i zawodowego) oraz specyfiki i przebiegu służby jako nurek (ukończone kursy, ilość nurkowań itp.). W celu przeprowadzenia tej analizy utworzono podgrupy badanych:

bez doświadczenia nurkowego oraz nurków: początkujących, średnio doświadczonych, doświadczonych i bardzo doświadczonych,

- podgrupy osób z uwzględnieniem wieku badanych (podgrupy wiekowe z podziałem na dekady życia: do III, III-IV, powyżej IV),
- podgrupy uczestników szkolenia nurkowego w warunkach pozorowanych- w komorze hiperbarycznej (HBO), oraz w warunkach rzeczywistych- w wodzie (H_2O),
- podgrupy osób z podziałem na rodzaj użytego i dominującego podczas szkolenia, czynnika oddechowego: powietrza, tlenu i mieszanin oddechowych,
- podgrupy osób zgłaszających i nie zgłaszających dolegliwości podczas nurkowania (sprężania),
- podgrupę osób z ,,obciążonym" wywiadem laryngologicznym (leczonych zachowawczo oraz zabiegowo obecnie lub w przeszłości przez lekarza laryngologa).

Analiza statystyczna wyników wykonana została w programach MS Office Exel oraz Statistica v13. Do obliczeń statystycznych na porównanie zmiennych wykorzystano test Shapiro-Wilka oraz testy nieparametryczne: U-Manna-Whitneya, Kruskala-Wallisa, Wilcoxona. Tabelaryczne statystyki opisowe i wykresy ramkowe obejmowały mediany, średnie odchylenia standardowe oraz zakresy wszystkich analizowanych zmiennych.

V. WYNIKI

V.1. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej- analiza porównawcza

W pierwszym etapie oceny badań audiometrii impedancyjnej porównano otrzymane wyniki pomiarów tympanometrycznych ucha Prawego i ucha Lewego, wykonywanych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) osób z doświadczeniem nurkowym z grupą kontrolną, którą stanowiły osoby bez doświadczenia nurkowego. Do badanej grupy nurków zaliczono osoby po minimum podstawowym kursie nurkowania- nurkowanie do głębokości 20 m.

Grupę kontrolną, czyli bez doświadczenia nurkowego, stanowiły osoby, które w okresie poprzedzającym badania, nigdy nie nurkowały.

W ocenie wyników pomiarów tympanometrycznych brano pod uwagę parametry:

- ciśnienie ucha środkowego (ang. *middle ear pressure*- MEP),
- podatność ucha środkowego (*compilance*- COM).

Wartości średnie, medianę, max i min oraz odchylenia standardowe badanych parametrów tympanometrycznych dla obu grup przedstawiono w tab. 5.1 i tab. 5.2.

Tab. 5.1. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób z doświadczeniem nurkowym- grupa badana (B)

Zmienna	grupa=B					
	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	99	4,38	3,00	-296,00	200,00	39,98
MEP PRZED L	99	11,92	6,00	-34,00	200,00	29,47
COM PRZED P	99	0,86	0,75	0,00	3,60	0,52
COM PRZED L	99	0,84	0,81	0,00	3,99	0,44
MEP PO P	99	15,00	6,00	-125,00	175,00	43,09
MEP PO L	99	17,81	6,00	-87,00	175,00	41,45
COM PO P	99	0,98	0,86	0,00	5,16	0,67
COM PO L	99	0,95	0,97	0,00	2,65	0,41

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

Tab. 5.2. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób bez doświadczenia nurkowego- grupa kontrolna (K)

Zmienna	grupa=K					
	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	38	8,74	3,00	-71,00	150,00	33,75
MEP PRZED L	38	6,95	3,00	-25,00	62,00	16,01
COM PRZED P	38	0,81	0,69	0,24	1,65	0,40
COM PRZED L	38	0,75	0,67	0,30	1,73	0,37
MEP PO P	37	20,95	6,00	-273,00	200,00	75,93
MEP PO L	37	17,59	9,00	-290,00	200,00	78,97
COM PO P	37	0,75	0,73	0,00	1,77	0,42
COM PO L	37	0,66	0,60	0,00	1,72	0,39

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.1.1. Analiza porównawcza wyników pomiarów tympanometrycznych grupy badanej do grupy kontrolnej

W początkowym etapie analizy porównawczej sprawdzono, czy istnieje istotna statystycznie różnica między grupą badaną (nurkowie) a kontrolną (osoby bez doświadczenia nurkowego) dla każdej ze zmiennych tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu).

W tym celu wykonano test U Manna-Whitneya. Wyniki przeprowadzonego testu przedstawiono w tab. 5.3.

Tab. 5.3. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla zmiennych tympanometrycznych w grupie badanej (B)- nurkowie i kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego.

Zmienna	Z popraw.	N ważn. B	N ważn. K	2*1 str.dokł. p
MEP PRZED P	0,605	99	38	0,548
MEP PRZED L	0,767	99	38	0,445
COM PRZED P	0,620	99	38	0,535
COM PRZED L	1,957	99	38	0,050
MEP PO P	-0,679	99	37	0,498
MEP PO L	0,000	99	37	1,000
COM PO P	1,946	99	37	0,051
COM PO L	3,954	99	37	0,000

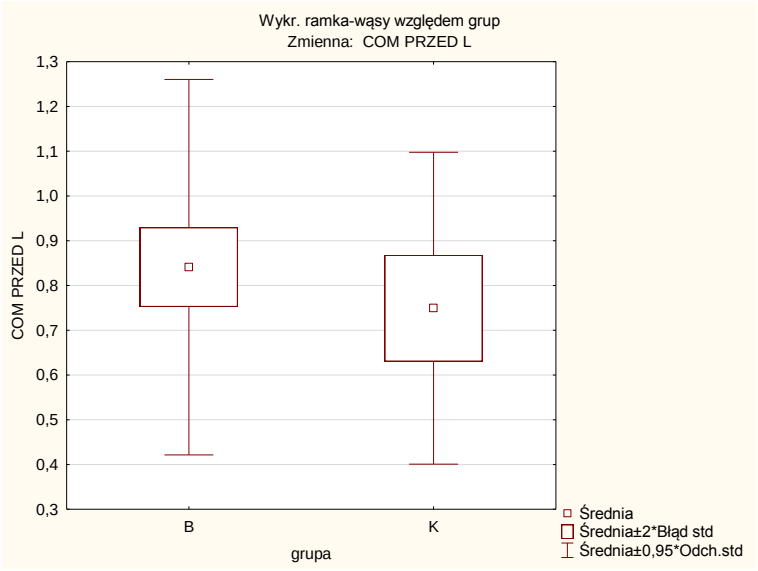
Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

W przeprowadzonej analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych grupy badanej (B- nurkowie) do grupy kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) stwierdzono:

- Na poziomie istotności p=0,049 istnieje istotna statystycznie różnica między grupą badaną (B) a kontrolną (K) dla zmiennej **COM PRZED L** (podatność ucha środkowego przed nurkowaniem- ucho Lewe). Wartość średnia w grupie badanej wynosi (0,84±0,44) i *jest wyższa* niż w grupie kontrolnej (0,75±0,37).

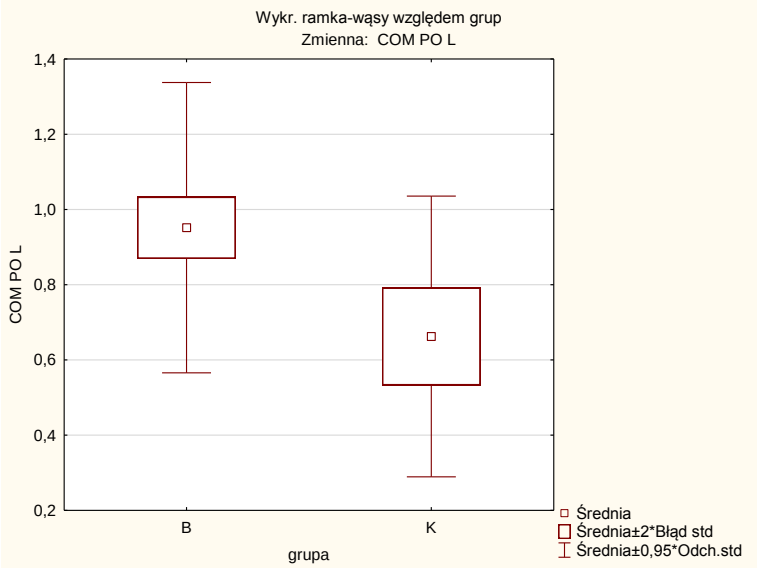
Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.1. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L (podatność ucha środkowego Lewego Przed nurkowaniem) względem grup B i K.

- Na poziomie istotności p=0,000 istnieje istotna statystycznie różnica między grupą badaną (B) a kontrolną (K) dla zmiennej **COM PO L** (podatność ucha środkowego po nurkowaniu-ucho Lewe). Wartość średnia w grupie badanej wynosi (0,95±0,41) i *jest wyższa* niż w grupie kontrolnej (0,66±0,39).

Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.2. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PO L (podatność ucha środkowego Lewego Po nurkowaniu) względem grup B i K.

Ponieważ w wyżej przeprowadzonej analizie wyników nie wykazano, istotnie statystycznej różnicy między grupami PRZED nurkowaniem (sprężaniem) dla ucha Prawego (p=0,535), a dla ucha Lewego otrzymane wyniki były na granicy istotności (p=0,050), z kolei PO zdarzeniu, czyli nurkowaniu, takie istotne różnice wystąpiły, w dalszej części badań wykonano analizę porównawczą uśrednionych wyników pomiarów dla ucha Prawego i Lewego i porównano je między grupami B i K.

Wartości średnie, medianę, max i min oraz odchylenia standardowe uśrednionych parametrów tympanometrycznych dla obu grup przedstawiono w tab. 5.4 i tab. 5.5.

Tab. 5.4. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób z doświadczeniem nurkowym- grupa badana (B).

Zmienna	grupa=B					
	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED ŚR	99	8,15	4,50	-129,50	200,00	29,46
COM PRZED ŚR	99	0,85	0,78	0,00	3,12	0,43
MEP PO ŚR	99	16,40	7,50	-106,00	121,50	35,16
COM PO ŚR	99	0,96	0,90	0,00	3,11	0,49

Objaśnienia: MEP ŚR- uśrednione ciśnienie ucha środkowego
COM ŚR- uśredniona podatność ucha środkowego

Tab. 5.5. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób bez doświadczenia nurkowego- grupa kontrolna (K).

Zmienna	grupa=K					
	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED ŚR	38	7,84	3,00	-32,50	73,50	20,64
COM PRZED ŚR	38	0,78	0,69	0,27	1,68	0,37
MEP PO ŚR	37	19,27	9,00	-129,00	187,50	49,44
COM PO ŚR	37	0,71	0,67	0,05	1,75	0,35

Objaśnienia: MEP ŚR- uśrednione ciśnienie ucha środkowego
COM ŚR- uśredniona podatność ucha środkowego

Podobnie jak wyżej, do przeprowadzenia analizy porównawczej uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych wykorzystano test U Manna-Whitneya. Wyniki przeprowadzonego testu przedstawiono w tab. 5.6.

Tab. 5.6. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych w grupie badanej (B)- nurkowie i kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego.

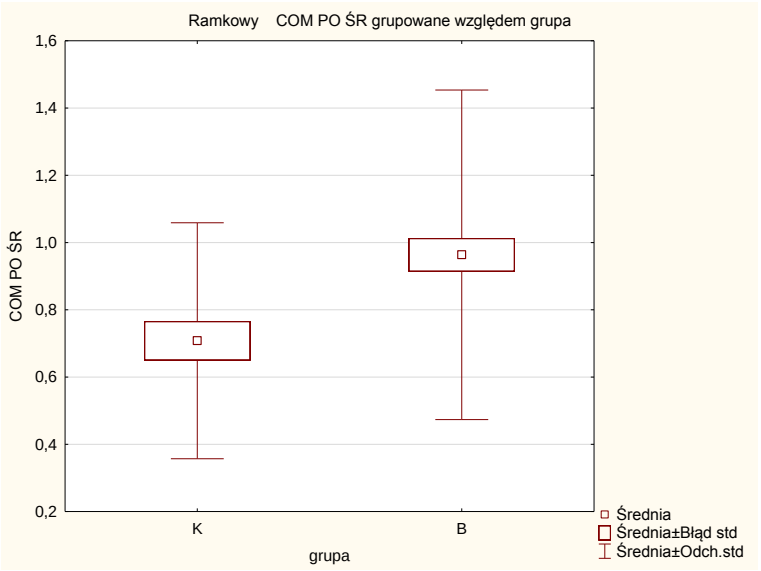
Zmienna	Test U Manna-Whitneya (z poprawką na ciągłość) (dane KP) Względem zmiennej: grupa Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000									
	Suma rang K	Suma rang B	U		p	Z popr.	p	N ważn K	N ważn B	2*1st dokł. p
MEP PRZED ŚR	2535,500	6917,500	1794,500	-0,413	0,679	-0,413	0,680	38	99	0,679
COM PRZED ŚR	2312,000	7141,000	1571,000	-1,488	0,136	-1,488	0,137	38	99	0,137
MEP PO ŚR	2572,000	6744,000	1794,000	0,180	0,856	0,181	0,856	37	99	0,857
COM PO ŚR	1905,000	7411,000	1202,000	-3,075	0,002	-3,076	0,002	37	99	0,002

Objaśnienia: MEP ŚR- średnie ciśnienie ucha środkowego
COM ŚR- średnia podatność ucha środkowego
* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

W przeprowadzonej analizie porównawczej uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych grupy badanej (B- nurkowie) do grupy kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) stwierdzono:

- Na poziomie istotności p=0,002 istnieje istotna statystycznie różnica między grupą badaną (B) a kontrolną (K) dla zmiennej **COM PO ŚR** (średnia podatność ucha środkowego po nurkowaniu). Wartość średnia w grupie badanej wynosi (0,96±0,49) i *jest wyższa* niż w grupie kontrolnej (0,71±0,35).

Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.3. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PO ŚR (uśredniona podatność ucha środkowego Po nurkowaniu) względem grup K i B.

V.1.2. Analiza porównawcza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup

W dalszym etapie analizy porównawczej sprawdzono, czy istnieje istotna statystycznie różnica dla zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z dwóch grup badanych (nurkowie i osoby bez doświadczenia nurkowego). W tym celu wykonano test kolejności par Wilcoxona.

Wyniki przeprowadzonego testu przedstawiono w tab. 5.7 i tab. 5.8.

Tab. 5.7. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B)- nurkowie.

Para zmiennych	grupa=B Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	87	1390,000	2,218	0,027
MEP PRZED L & MEP PO L	86	1527,500	1,477	0,140
COM PRZED P & COM PO P	96	1091,000	4,520	0,000
COM PRZED L & COM PO L	98	887,500	5,450	0,000

Tab. 5.8. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego.

Para zmiennych	grupa=K Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	37	240,500	1,675	0,094
MEP PRZED L & MEP PO L	35	252,500	1,024	0,306
COM PRZED P & COM PO P	36	316,500	0,259	0,795
COM PRZED L & COM PO L	33	263,500	0,304	0,761

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

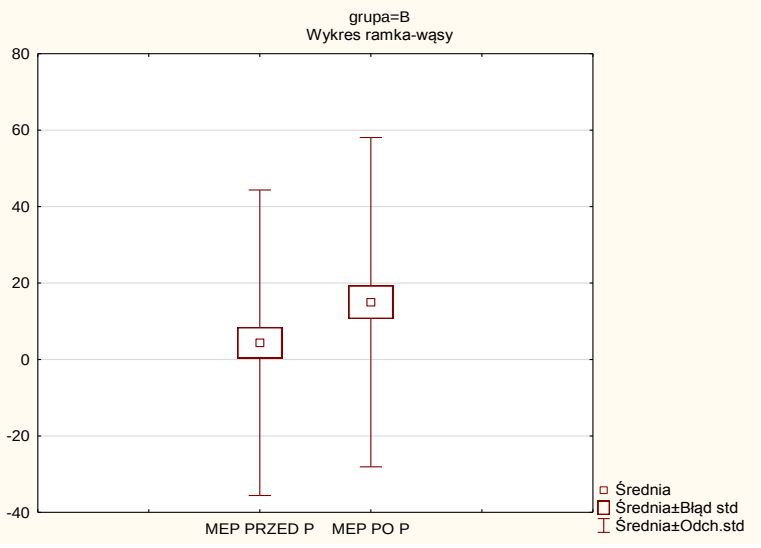
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

W przeprowadzonej analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej (B) na poziomie istotności p= 0,027 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe) przed nurkowaniem i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia **MEP P** przed nurkowaniem wynosi 4,38±39,98 i *jest niższa niż po nurkowaniu* (15,00±43,09).

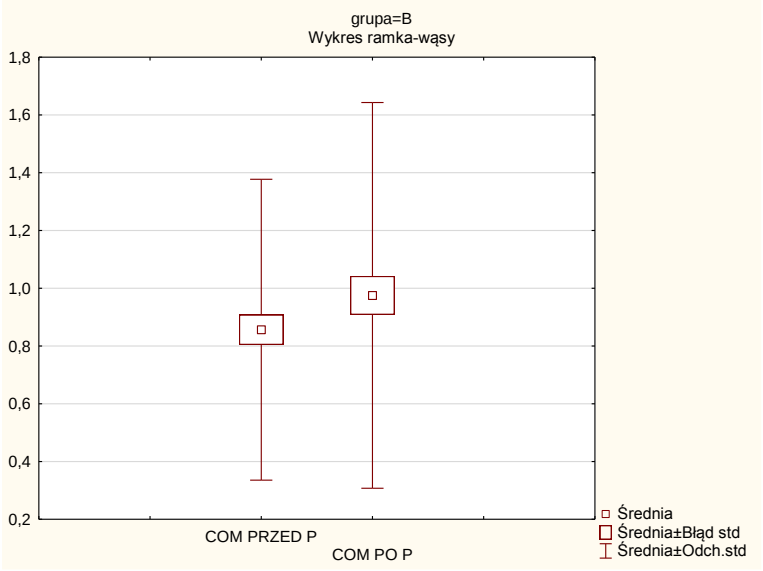
Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.4. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej (B) na poziomie istotności p= 0,000 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho Prawe) przed nurkowaniem i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia **COM P** przed nurkowaniem wynosi 0,86±0,52 i *jest niższa niż po nurkowaniu* (0,98±0,67).

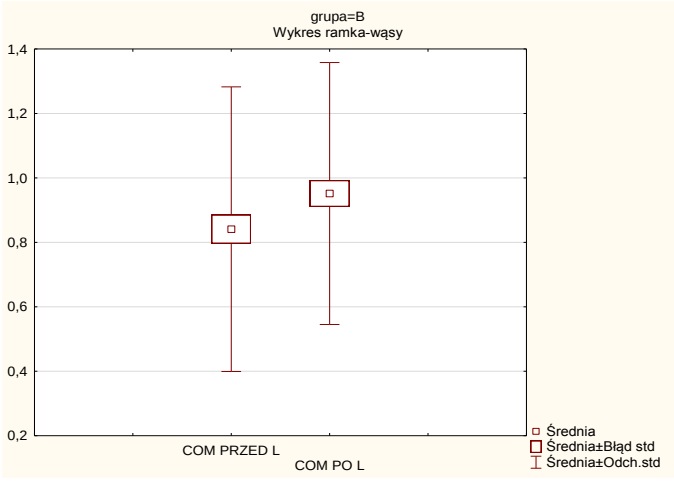
Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.5. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P I PO P (podatność ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej (B) na poziomie istotności p= 0,000 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho Lewe) przed nurkowaniem i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia **COM L** przed nurkowaniem wynosi 0,84±0,44 i *jest niższa niż po nurkowaniu* (0,95±0,41).

Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.6. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L I PO L (podatność ucha środkowego Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B.

Dla pełnego obrazu zależności statystycznych w kolejnym etapie analizy, podobnie jak to miało miejsce w poprzedniej części badań, porównano uśrednione pomiary wartości zmiennych dla ucha Prawego i ucha Lewego w obu grupach. Na potrzeby tej analizy ponownie wykorzystano test kolejności par Wilcoxona.
Wyniki przeprowadzonego testu dla każdej z grup badawczych przedstawiono w tab. 5.9 i tab. 5.10.

Tab. 5.9. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B)- nurkowie

Para zmiennych	grupa=B Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED ŚR & MEP PO ŚR	94	1433,500	3,012977	0,002587
COM PRZED ŚR & COM PO ŚR	99	841,500	5,701388	0,000000

Objaśnienia: MEP ŚR- średnie ciśnienie ucha środkowego
COM ŚR- średnia podatność ucha środkowego
* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

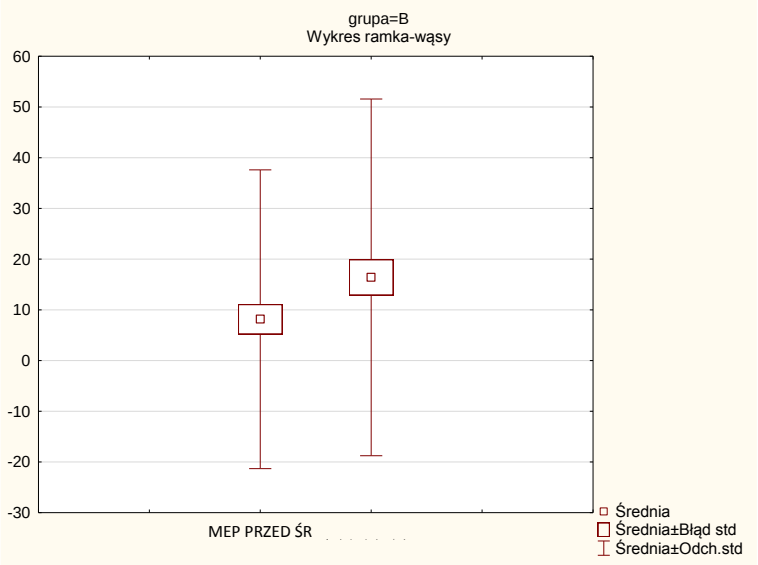
Tab. 5.10. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego.

Para zmiennych	grupa=K Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED ŚR & MEP PO ŚR	36	225,5000	1,688887	0,091242
COM PRZED ŚR & COM PO ŚR	35	254,0000	0,999128	0,317734

W przeprowadzonej analizie porównawczej uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych grupy badanej (B- nurkowie) PRZED i PO nurkowaniu stwierdzono:

- Na poziomie istotności p=0,003 istnieje istotna statystycznie różnica PRZED i PO dla zmiennej **MEP ŚR** (średnie ciśnienie ucha środkowego) w grupie badanej (B). Wartość średnia **MEP PO ŚR** wynosi (16,4± 35,16) i *jest wyższa* niż **MEP PRZED ŚR** (8,15± 29,46).

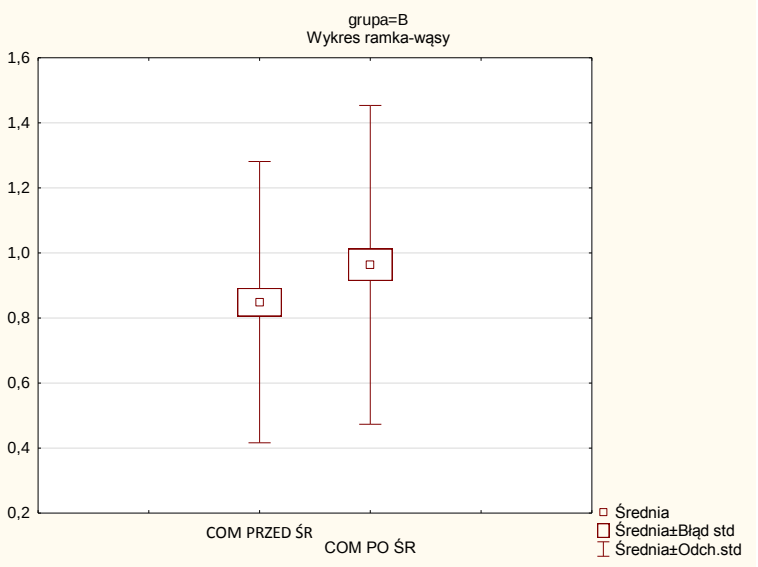
Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.7. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED ŚR I PO ŚR (uśrednione ciśnienie ucha środkowego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B.

- Na poziomie istotności p=0,000 istnieje istotna statystycznie różnica PRZED i PO dla zmiennej **COM ŚR** (średnia podatność ucha środkowego) w grupie badanej (B). Wartość średnia **COM PO ŚR** wynosi (0,96± 0,49) i *jest wyższa* niż **COM PRZED ŚR** (0,85± 0,43).

Poniżej wykres reprezentujący tę różnicę:



Ryc. 5.8. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED ŚR I PO ŚR (uśredniona podatność ucha środkowego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B.

W przeprowadzonej w sposób analogiczny analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych, uśrednionych osobno dla ucha Prawego i ucha Lewego w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), w odróżnieniu od grupy badanej (B- nurkowie), *nie stwierdzono* istotnie statystycznie różnic dla zmiennych **MEP** (ciśnienie ucha środkowego) i **COM** (podatność ucha środkowego) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

V.2. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od doświadczenia nurkowego

W kolejnym etapie badań poddano ocenie czy istnieje zależność pomiędzy wynikami wykonanych pomiarów tympanometrycznych a doświadczeniem nurkowym.
W tym celu w grupie badanych nurków (B) wyodrębniono podgrupy z zastosowaniem podziału uwzględniającego doświadczenie nurkowe (rekreacyjne i zawodowe) oraz specyfikę i przebieg służby jako nurek (ukończone kursy, ilość nurkowań itp.).
Biorąc pod uwagę powyższe kryteria dla celów przeprowadzenia analizy utworzono grupy nurków:

- Początkujący (48 nurków)- staż nurkowy do 2 lat,
- Średnio doświadczony (20 nurków)- średni staż nurkowy od 2 do 5 lat,
- Doświadczony (5 nurków)- średni staż nurkowy od 5 do 8 lat,
- Bardzo doświadczony (26 nurków)- staż nurkowy powyżej 8 lat-śr. 8-10 lat.

Osoby z grupy kontrolnej (K) z oczywistych względów zaliczono do grupy bez doświadczenia nurkowego.

V.2.1. Analiza wpływu doświadczenia nurkowego na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup nurków (B-nurkowie)

W celu przeprowadzenia analizy powyższego problemu wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP- ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

V.2.1.1. Grupa nurków początkujących (staż nurkowy do 2 lat-B-POCZ)

W przeprowadzonej analizie wpływu doświadczenia nurkowego na wyniki tympanometrii w grupie badanej nurków początkujących (B- POCZ), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurków początkujących (B-POCZ) na poziomie istotności p=0,00003 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,994±0,406) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,842±0,333),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurków początkujących (B-POCZ) na poziomie istotności p=0,00003 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,974±0,3439) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,847±0,267).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujący tę różnicę:

Tab. 5.11. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący.

Para zmiennych	grupa=*B-POCZ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*początkujący* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	46	159,5000	4,162567	0,000031
COM PRZED L & COM PO L	47	171,5000	4,153497	0,000033

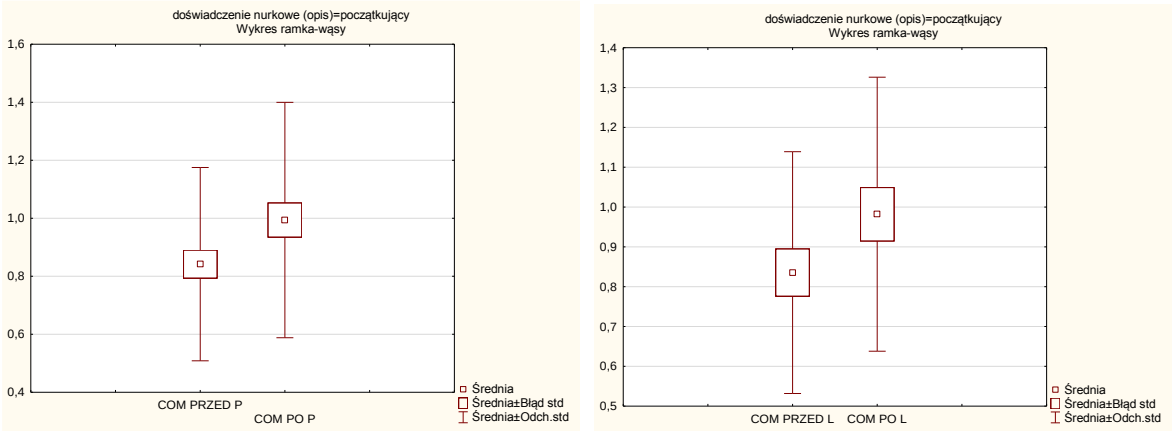
Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.12. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- -nurkowie początkujący.

Zmienna	Wyniki zagregowane Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50							
	grupa	doświadczenie nurkowe	NWa-żnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksi-mum	Odch. std.
COM PRZED P	B-POCZ	początkujący	47	0,84191	0,81000	0,140	1,7800	0,33331

COM PO P	**B-POCZ**	**początkujący**	47	0,99383	0,92000	0,230	2,2500	0,40582
COM PRZED L	**B-POCZ**	**początkujący**	47	0,84723	0,81000	0,350	1,6100	0,26742
COM PO L	**B-POCZ**	**początkujący**	47	0,97447	0,97000	0,290	1,8200	0,33863



Ryc. 5.9. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POCZ.

- W grupie badanej nurków początkujących (B-POCZ) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla pozostałych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego). Poniżej w tabelach zebrane wartości p oraz średnie dla pozostałych parametrów tympanometrycznych, dla których nie wykazano istotności statystycznej.

Tab. 5.13. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący.

Para zmiennych	**grupa=*B-POCZ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*początkujący* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p**			
	N Ważnych	**T**	**Z**	**p**
MEP PRZED P & MEP PO P	39	338,0000	0,725660	0,468048
MEP PRZED L & MEP PO L	38	302,5000	0,986155	0,324058

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

Tab. 5.14. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)--nurkowie początkujący.

Zmienna	Wyniki zagregowane Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50							
	grupa	doświadczenie nurkowe	NWa-żnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksi-mum	Odch. std.
MEP PRZED P	B-POCZ	początkujący	47	6,87234	3,00000	-25,000	59,0000	15,75163
MEP PRZED L	B-POCZ	początkujący	47	12,46809	6,00000	-34,000	128,0000	29,34269
MEP PO P	B-POCZ	początkujący	47	8,00000	3,00000	-125,000	162,0000	41,78308
MEP PO L	B-POCZ	początkujący	47	21,10638	6,00000	-87,000	175,0000	52,14079

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.2.1.2. Grupa nurków średnio doświadczonych (staż nurkowy od 2 do 5 lat-B-ŚRDOŚ)

W przeprowadzonej analizie wpływu doświadczenia nurkowego na wyniki tympanometrii w grupie badanej nurków średnio doświadczonych (B-ŚRDOŚ), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurków średnio doświadczonych (B-ŚRDOŚ) na poziomie istotności p=0,034 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,902±0,647) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,742±0,358).
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurków średnio doświadczonych (B-ŚRDOŚ) na poziomie istotności p=0,0002 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,949±0,422) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,730±0,278).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujące te różnice:

Tab. 5.15. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni.

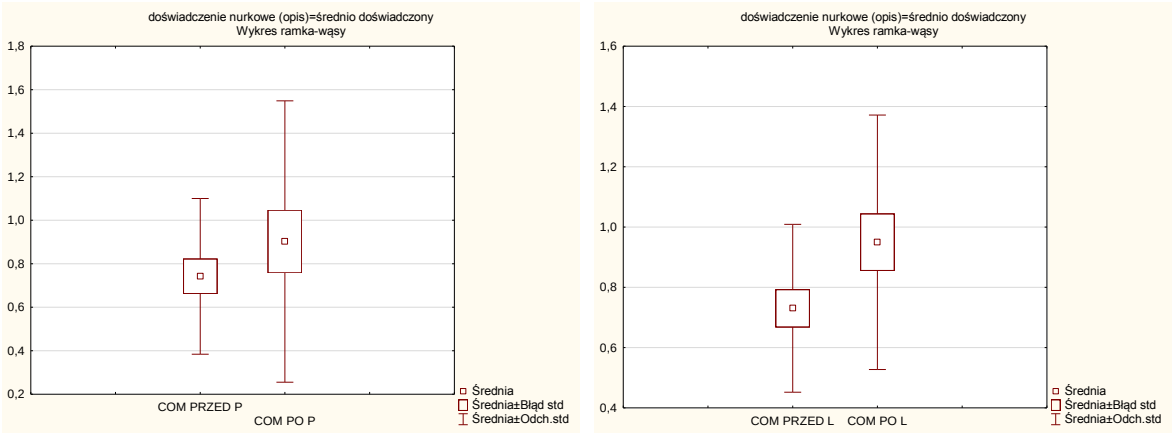
Para zmiennych	grupa=*B-ŚRDOŚ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*średnio doświadczony* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	19	42,5000	2,112715	0,034626
COM PRZED L & COM PO L	20	6,0000	3,695934	0,000219

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.16. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni.

Zmienna	Wyniki zagregowane Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50							
	grupa	doświadczenie nurkowe	NWa-żnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksi-mum	Odch. std.
COM PRZED P	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	0,74200	0,69000	0,3300	1,6800	0,35793
COM PO P	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	0,90200	0,74500	0,2500	2,5600	0,64678
COM PRZED L	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	0,73050	0,77500	0,3100	1,2300	0,27844
COM PO L	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	0,94950	0,98000	0,3400	1,8800	0,42217



Ryc. 5.10. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ŚRDOŚ.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurków średnio doświadczonych (B-ŚRDOŚ) na poziomie istotności p=0,021 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **MEP PO P** ((29,55±54,781) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PRZED P** (0,65±16,158).

Poniżej tabele i wykres reprezentujący tę różnicę:

Tab. 5.17. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni.

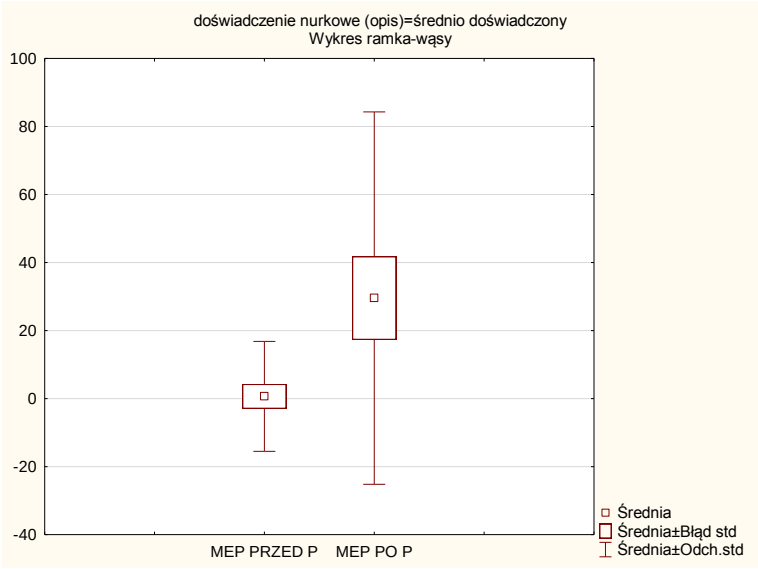
Para zmiennych	grupa=*B-ŚRDOŚ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*średnio doświadczony* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	19	37,5000	2,313925	0,020672
MEP PRZED L & MEP PO L	17	60,5000	0,757410	0,448805

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.18. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)--nurkowie średnio doświadczeni.

Zmienna	Wyniki zagregowane Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50							
	grupa	doświadczenie nurkowe	NWa-żnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksi-mum	Odch. std.
MEP PRZED P	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	0,65000	3,00000	-62,0000	18,0000	16,15802
MEP PO P	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	29,55000	4,50000	-6,0000	175,0000	54,73811
MEP PRZED L	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	3,95000	3,00000	-12,0000	25,0000	7,93045
MEP PO L	B-ŚRDOŚ	średnio doświadczony	20	2,55000	6,00000	-46,0000	34,0000	20,17939



Ryc. 5.11. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ŚRDOŚ.

V.2.1.3. Grupa nurków doświadczonych (staż nurkowy od 5 do 8 lat-B-DOŚ)

- W przeprowadzonej analizie wpływu doświadczenia nurkowego na wyniki tympanometrii w grupie badanej nurków doświadczonych (B-DOŚ), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego, **COM-** podatność ucha środkowego).

Poniżej w tabelach zebrane wartości p dla zmiennych, dla których nie wykazano istotności statystycznej.

Tab. 5.19. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOŚ)- nurkowie doświadczeni.

Para zmiennych	grupa=*B-DOŚ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*doświadczony* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	5	7,000000	0,134840	0,892738
MEP PRZED L & MEP PO L	5	7,000000	0,134840	0,892738
COM PRZED P & COM PO P	5	5,000000	0,674200	0,500185
COM PRZED L & COM PO L	5	3,000000	1,213560	0,224917

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.2.1.4. Grupa nurków bardzo doświadczonych (staż nurkowy powyżej 8 lat- B-BDOŚ)

- W przeprowadzonej analizie wpływu doświadczenia nurkowego na wyniki tympanometrii w grupie badanej nurków bardzo doświadczonych (B-BDOŚ), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego, **COM**- podatność ucha środkowego).

Poniżej w tabelach zebrane wartości p dla zmiennych, dla których nie wykazano istotności statystycznej.

Tab. 5.20. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-BDOŚ)- nurkowie bardzo doświadczeni.

Para zmiennych	grupa=*B-BDOŚ*, doświadczenie nurkowe (opis)=*b.doświadczony* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	23	107,5000	0,927656	0,353587
MEP PRZED L & MEP PO L	26	128,5000	1,193705	0,232594
COM PRZED P & COM PO P	25	104,0000	1,574054	0,115476
COM PRZED L & COM PO L	25	103,5000	1,587508	0,112399

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.2.2. Analiza wpływu doświadczenia nurkowego na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego)

W celu przeprowadzenia powyższej analizy wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP- ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

- W przeprowadzonej analizie wpływu doświadczenia nurkowego na wyniki tympanometrii w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego, **COM**- podatność ucha środkowego).

V.2.3. Analiza wartości średnich zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup doświadczenia nurkowego

W kolejnym etapie badań sprawdzono czy istnieją istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi zmiennych tympanometrycznych dla każdej z grup badanych z uwzględnieniem doświadczenia nurkowego. W powyższej analizie wykorzystano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa.
W przeprowadzonej analizie nie udało się wykazać żadnej istotności statystycznej.

V.3. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od wieku badanych

W dalszym etapie analizy przeprowadzonych badań dokonano oceny występowania ewentualnych zależność wyników pomiarów tympanometrycznych od wieku uczestników badania.
W celu przeprowadzenia tego typu analizy dokonano podziału osób biorących udział w badaniu na poszczególne grupy wiekowe z podziałem na dekady życia:

- grupa wiekowa do III dekady życia (osoby do 30 lat),
- grupa wiekowa III-IV dekady życia (osoby w wieku od 31 do 40 lat),
- grupa wiekowa powyżej IV dekady życia (osoby w wieku powyżej 41 lat).

W prowadzonych badaniach uczestniczyli wyłącznie mężczyźni. Średnia wieku dla grupy badanych nurków (B) wynosiła 31 lat, najmłodszy nurek miał 21 lat, a najstarszy 54 lata. W grupie kontrolnej (K) średnia wieku wynosiła 25,7 lat, najmłodszy uczestnik badania liczył 19 lat, a najstarszy 40 lat.
Dokładniejsze zestawienia liczby uczestników badania i składu procentowego poszczególnych grup wiekowych przedstawia poniższa tabela:

Tab. 5.21. Liczba uczestników badania i skład procentowy poszczególnych grup wiekowych w grupie badanej (B- nurkowie) i kontrolnej (K-osoby bez doświadczenia nurkowego).

grupa	Podsumowująca tabela dwudzielcza: częstości obserwowane (dane KP) Liczność oznacz. komórek > 10 Pomiń przypadki: 50			
	WIEK GR do III dekady	WIEK GR III-IV dekada	WIEK GR powyżej IV dekady	Wiersz Razem
B	43	49	7	99
%kolumny	61,43%	81,66%	100,00%	
%wiersza	43,43%	49,49%	7,07%	
K	27	11	0	38
%kolumny	38,57%	18,33%	0,00%	
%wiersza	71,05%	28,95%	0,00%	
Ogółem	70	60	7	137

V.3.1. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup wiekowych nurków (B)

W celu przeprowadzenia analizy powyższego problemu tak jak wcześniej wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP- ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

V.3.1.1. Grupa nurków należąca do III dekady życia

W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie wiekowej nurków do III dekady (B-III), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie wiekowej nurków do III dekady życia (B-III) na poziomie istotności p=0,009 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,841±0,306) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,749±0,278),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie wiekowej nurków do III dekady życia (B-III) na poziomie istotności p=0,0003 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,893±0,284) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,790±0,268).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujące opisane różnice:

Tab. 5.22. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia.

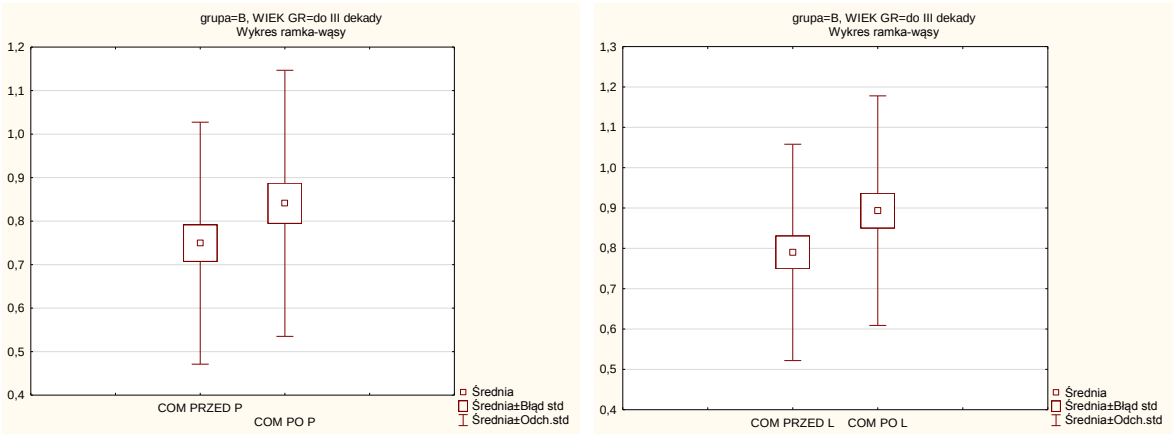
Para zmiennych	grupa=*B-III*, WIEK GR=*do III dekady* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	41	228,5000	2,617588	0,008856
COM PRZED L & COM PO L	43	175,0000	3,598336	0,000320

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.23. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- -nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia.

Zmienna	grupa=*B-III*, WIEK GR=*do III dekady* Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	43	0,74930	0,78000	0,0000	1,7800	0,27813
COM PRZED L	43	0,79000	0,79000	0,0000	1,2700	0,26810
COM PO P	43	0,84093	0,88000	0,2500	1,5400	0,30585
COM PO L	43	0,89349	0,93000	0,2900	1,5700	0,28445



Ryc. 5.12. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-III.

- W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie wiekowej nurków do III dekady (B-III) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla pozostałych zmiennych t.j. **MEP**- ciśnienia ucha środkowego.

Poniżej w tabelach zebrane wartości p dla zmiennych, dla których nie wykazano istotności statystycznej:

Tab. 5.24. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia.

Para zmiennych	grupa=*B-III*, WIEK GR=*do III dekady* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	38	261,0000	1,587999	0,112288
MEP PRZED L & MEP PO L	33	192,0000	1,581303	0,113810

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.3.1.2. Grupa nurków należąca do przedziału III i IV dekady życia

W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie wiekowej nurków z przedziału III i IV dekady (B-III-IV), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie wiekowej nurków z przedziału III i IV dekady życia (B-III-IV) na poziomie istotności p=0,00002 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (1,131±0,871) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,947±0,676),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie wiekowej nurków z przedziału III i IV dekady życia (B-III-IV) na poziomie istotności p=0,00004 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (1,032±0,467) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,902±0,560).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujące opisane różnice:

Tab. 5.25. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)- nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia.

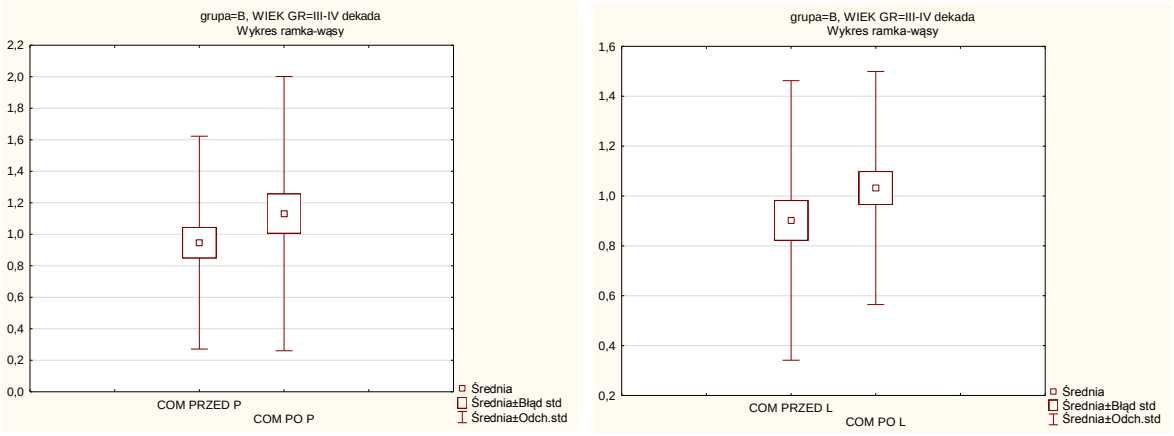
Para zmiennych	grupa=*B-III-IV*, WIEK GR=*III-IV dekada* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	47	166,0000	4,211699	0,000025
COM PRZED L & COM PO L	47	177,0000	4,095295	0,000042

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.26. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)--nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia.

Zmienna	grupa=*B-III-IV*, WIEK GR=*III-IV dekada* Statystyki opisowe (dane KP) Pomiń przypadki: 50					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	48	0,94708	0,71000	0,100	3,6000	0,67570
COM PRZED L	48	0,90188	0,85000	0,350	3,9900	0,56045
COM PO P	48	1,13125	0,82500	0,010	5,1600	0,87060
COM PO L	48	1,03188	1,01000	0,320	2,6500	0,46748



Ryc. 5.13. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-III-IV.

- Dla pozostałych zmiennych t.j. **MEP**- ciśnienia ucha środkowego *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic w grupie wiekowej nurków z przedziału III i IV dekady życia (B-III-IV).

Poniżej w tabeli zebrane wartości p dla zmiennych MEP:

Tab. 5.27. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)- nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia.

Para zmiennych	grupa=*B-III-IV*, WIEK GR=*III-IV dekada* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	42	337,5000	1,425418	0,154037
MEP PRZED L & MEP PO L	46	518,5000	0,240358	0,810053

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.3.1.3. Grupa nurków powyżej IV dekady życia

- W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie wiekowej nurków powyżej IV dekady (B-IV), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego, **COM**- podatność ucha środkowego).

Poniżej przedstawione w tabeli wartości p dla zmiennych MEP i COM:

Tab. 5.28. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-IV)- nurkowie powyżej IV dekady życia.

Para zmiennych	grupa=*B-IV*, WIEK GR=*powyżej IV dekady* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	6	9,00000	0,314485	0,753153
MEP PRZED L & MEP PO L	7	9,00000	0,845154	0,398025
COM PRZED P & COM PO P	7	13,00000	0,169031	0,865772
COM PRZED L & COM PO L	7	5,00000	1,521278	0,128191

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.3.2. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup wiekowych osób bez doświadczenia nurkowego (K)

Podobnie jak w poprzedniej analizie do oceny wyników badanych zmiennych tympanometrycznych (MEP, COM) wykorzystano test kolejności par Wilcoxona.

V.3.2.1. Grupa kontrolna należąca do III dekady życia

- W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie kontrolnej do III dekady życia (K-III), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP**- ciśnienie ucha środkowego, **COM**- podatność ucha środkowego).

Poniżej przedstawione w tabeli wartości p dla zmiennych MEP i COM:

Tab. 5.29. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-III)- osoby bez doświadczenia nurkowego w grupie wiekowej do III dekady życia.

Para zmiennych	grupa=*K-III*, WIEK GR=*do III dekady* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	26	113,0000	1,587374	0,112429
MEP PRZED L & MEP PO L	24	87,5000	1,785714	0,074146
COM PRZED P & COM PO P	26	170,0000	0,139689	0,888906
COM PRZED L & COM PO L	23	129,5000	0,258527	0,796000

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.3.2.2. Grupa kontrolna należąca do przedziału III i IV dekady życia

- W przeprowadzonej analizie wyników pomiarów tympanometrycznych w grupie kontrolnej należącej do przedziału III i IV dekady życia (K-III-IV), również *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic dla wszystkich badanych zmiennych tympanometrycznych (**MEP** i **COM)**.

Poniżej w tabeli zebrane wartości p dla zmiennych MEP i COM:

Tab. 5.30. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP, COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-III-IV)- osoby bez doświadczenia nurkowego w grupie wiekowej należącej do przedziału III i IV dekady życia.

Para zmiennych	grupa=*K-III-IV*, WIEK GR=*III-IV dekada* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	11	24,50000	0,755742	0,449804
MEP PRZED L & MEP PO L	11	21,00000	1,066930	0,286004
COM PRZED P & COM PO P	10	24,00000	0,356753	0,721277
COM PRZED L & COM PO L	10	25,00000	0,254824	0,798860

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe
COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.3.3. Analiza wartości średnich zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup wiekowych

Kolejnym etapem prowadzonych badań było sprawdzenie czy istnieją istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi zmiennych tympanometrycznych dla każdej z grup wiekowych nurków (B) oraz dla osób bez doświadczenia nurkowego (K). W tym celu posłużono się z testem nieparametrycznym Kruskala-Wallisa.
W przeprowadzonej analizie nie udało się wykazać żadnej istotności statystycznej.

V.4. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od warunków nurkowania

W dalszej części badań przeprowadzono analizę zależności wyników pomiarów tympanometrycznych od warunków nurkowania. W tym celu dokonano podziału, wśród osób biorących udział w badaniu, na uczestników szkolenia nurkowego w warunkach pozorowanych- w komorze hiperbarycznej, oraz w warunkach rzeczywistych- w wodzie.

Według powyższych kryteriów w grupie badanej (B-nurkowie)- 54 osoby uczestniczyły w szkoleniu nurkowym w komorze hiperbarycznej, a 45 osób brało udział w szkoleniu w wodzie.

W grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) wszyscy badani (38 osób), z oczywistych względów bezpieczeństwa, uczestniczyli tylko w szkoleniu w komorze hiperbarycznej.

V.4.1. Analiza wyników tympanometrii w każdej z grup badawczych w zależności od warunków nurkowania

W tej części analizy wyników badań sprawdzono czy istnieją istotnie statystycznie różnice między zapisami tympanometrycznymi wykonywanymi przed i po nurkowaniach (sprężaniach) w wodzie (H_2O) i komorze hiperbarycznej (KOM).

Dla potrzeb analizy powyższego zagadnienia skorzystano z Testu Kruskala-Wallisa, w którym w obu grupach badawczych (B-nurkowie; K-osoby bez doświadczenia nurkowego) *nie udało się uzyskać istotnej statystycznie* różnicy dla każdej zmiennej tympanometrycznej mierzonej podczas szkolenia nurkowego w wodzie (H_2O) i komorze hiperbarycznej (KOM).

V.4.2. Analiza wpływu warunków nurkowania na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup badawczych

Kolejnym etapem prowadzonych badań było sprawdzenie czy istnieją istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi zmiennych tympanometrycznych u osób nurkujących w wodzie i sprężanych w komorze hiperbarycznej.
W tym celu posłużono się testem kolejności par Wilcoxona.
Poniżej przedstawiono tylko istotne statystycznie wnioski z przeprowadzonej analizy.

V.4.2.1. Warunki nurkowania: woda (H_2O)

W przeprowadzonej analizie wpływu warunków nurkowania: woda w grupie badanej nurków (B-H_2O), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O) na poziomie istotności p=0,00009 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho Prawe) przed i po nurkowaniu. Wartość średnia dla **COM PO P** (0,981±0,499) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,845±0,392),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O) na poziomie istotności p=0,000003 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho Lewe) przed i po nurkowaniu. Wartość średnia dla **COM PO L** (0,983±0,342) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,819±0,235).

Poniżej tabele i wykresy przedstawiające te różnice:

Tab. 5.31. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O).

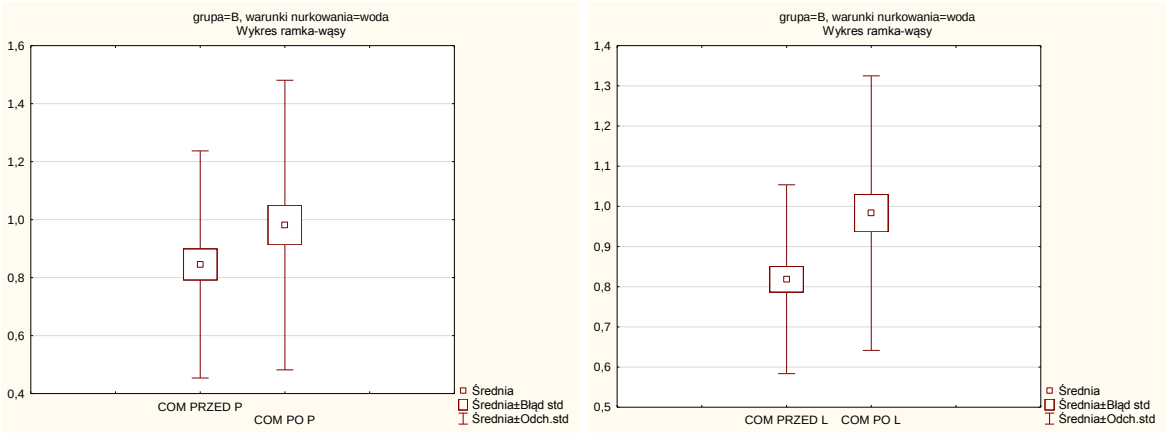
Para zmiennych	grupa=*B-H_2O*, warunki nurkowania=*woda* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	53	274,0000	3,908496	0,000093
COM PRZED L & COM PO L	52	175,5000	4,676402	0,000003

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.32. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O).

Zmienna	grupa=*B-H_2O*, warunki nurkowania=*woda* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	53	0,84547	0,78000	0,140	2,1100	0,39163
COM PO P	53	0,98132	0,87000	0,000	2,5600	0,49943
COM PRZED L	53	0,81868	0,83000	0,350	1,3300	0,23506
COM PO L	53	0,98321	1,01000	0,000	1,8800	0,34165



Ryc. 5.14. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-H_2O.

- W grupie badanej (B- nurkowie) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami zmiennych **MEP** (ciśnienie ucha środkowego dla warunków nurkowania (sprężania) w wodzie.

V.4.2.2. Warunki nurkowania: komora hiperbaryczna (KOM)

W przeprowadzonej analizie wpływu warunków nurkowania: komora w grupie badanej nurków (B-KOM), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej sprężanej w komorze (B-KOM) na poziomie istotności p=0,005 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego-ucho Lewe) przed i po nurkowaniu. Wartość średnia dla **COM PO L** (0,915±0,471) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,867±0,599),
- Dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho Prawe) poziom istotności ma wartość progową p=0,053. Przy liczniejszej grupie badanej *występują przesłanki*

do wystąpienia istotności statystycznej. Wartość średnia dla **COM PO P** jest wyższa (0,968±0,826) w porównaniu z **COM PRZED P** (0,869±0,643).

Poniżej tabele i wykresy przedstawiające te różnice:

Tab. 5.33. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej (sprężanej) w komorze (B-KOM).

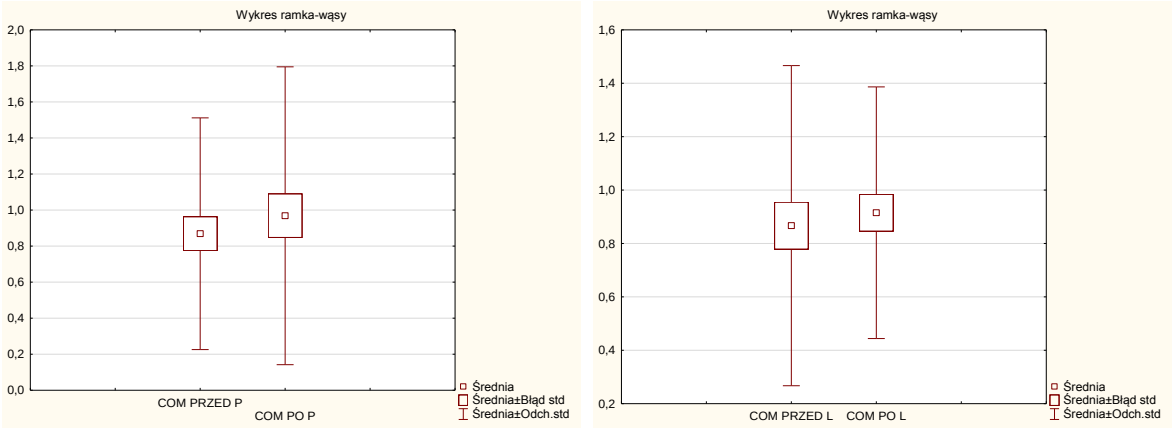
Para zmiennych	grupa=*B-KOM*, warunki nurkowania=*komora* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	43	312,5000	1,938030	0,052620
COM PRZED L & COM PO L	46	284,5000	2,796896	0,005160

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.34. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej (sprężanej) w komorze (B-KOM).

Zmienna	grupa=*B-KOM*, warunki nurkowania=*komora* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	46	0,86891	0,73500	0,000	3,6000	0,64285
COM PRZED L	46	0,86674	0,76000	0,000	3,9900	0,59954
COM PO P	46	0,96848	0,80500	0,010	5,1600	0,82633
COM PO L	46	0,91522	0,80000	0,290	2,6500	0,47124



Ryc. 5.15. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-KOM.

- W grupie badanej (B- nurkowie) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami zmiennych **MEP** (ciśnienie ucha środkowego dla warunków nurkowania (sprężania) w komorze.

W przeprowadzonej analizie wpływu warunków nurkowania: komora w grupie kontrolnej (K-KOM), stwierdzono:

- W grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami wszystkich oznaczonych zmiennych tympanometrycznych (**MEP, COM**) dla warunków nurkowania (sprężania) w komorze hiperbarycznej.

V.5. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od technologii nurkowania

W tym etapie badań dokonano oceny statystycznej istnienia ewentualnych różnic w wynikach pomiarów tympanometrycznymi wykonywanymi przed i po nurkowaniach (sprężaniach) z wykorzystaniem różnego czynnika oddechowego.
W celu zbadania tego problemu osoby biorące udział w badaniu, zakwalifikowano do podgrup z podziałem na rodzaj użytego i dominującego podczas ćwiczeń, czynnika oddechowego. Biorąc pod uwagę powyższe kryteria w grupie badanej (B-nurkowie) i grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) wyodrębniono podgrupy:

- Powietrze- ten czynnik oddechowy w grupie badanej (B) stosowało 77 nurków, a w grupie kontrolnej (K)- 38 osób,
- Tlen- do tej podgrupy zaliczono 14 nurków z grupy badanej (B),
- Mieszaniny- ten czynnik oddechowy stosowało 8 nurków z grupy badanej (B).

V.5.1. Analiza wpływu technologii nurkowania (czynnika oddechowego) na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup badawczych

W celu przeprowadzenia analizy powyższego problemu wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP- ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

V.5.1.1. Czynnik oddechowy: powietrze (POW)

W przeprowadzonej analizie wpływu technologii nurkowania: powietrze na wyniki tympanometrii w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania powietrze (B- POW) na poziomie istotności p=0,031 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **MEP PO P** (16,429±42,209) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PRZED P** (3,662±44,905).

Poniżej tabele i wykres reprezentujące tą różnicę:

Tab. 5.35. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze.

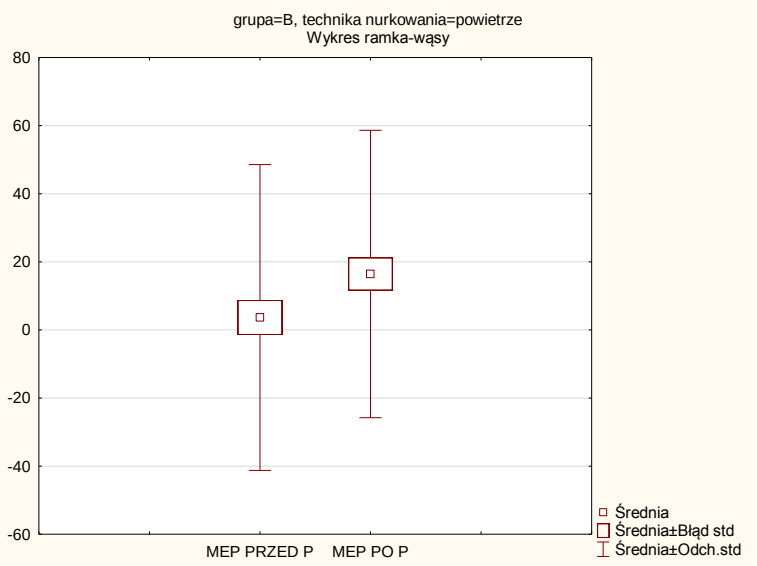
Para zmiennych	grupa=*B-POW*, technologia nurkowania=*powietrze* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	67	794,000	2,155093	0,031155

Objaśnienia: MEP P- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.36. Wartości średnie dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)--nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze.

Zmienna	grupa=*B-POW*, technologia nurkowania=*powietrze* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	77	3,66234	3,00000	-296,000	200,0000	44,90534
MEP PO P	77	16,42857	6,00000	-125,000	175,0000	42,20889



Ryc. 5.16. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POW.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania powietrze (B- POW) na poziomie istotności p=0,00008 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho Prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,994±0,713) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,865±0,559),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania powietrze (B- POW) na poziomie istotności p=0,000004 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho Lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,965±0,420) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,853±0,479).

Poniżej tabele i wykresy przedstawiające te różnice:

Tab. 5.37. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze.

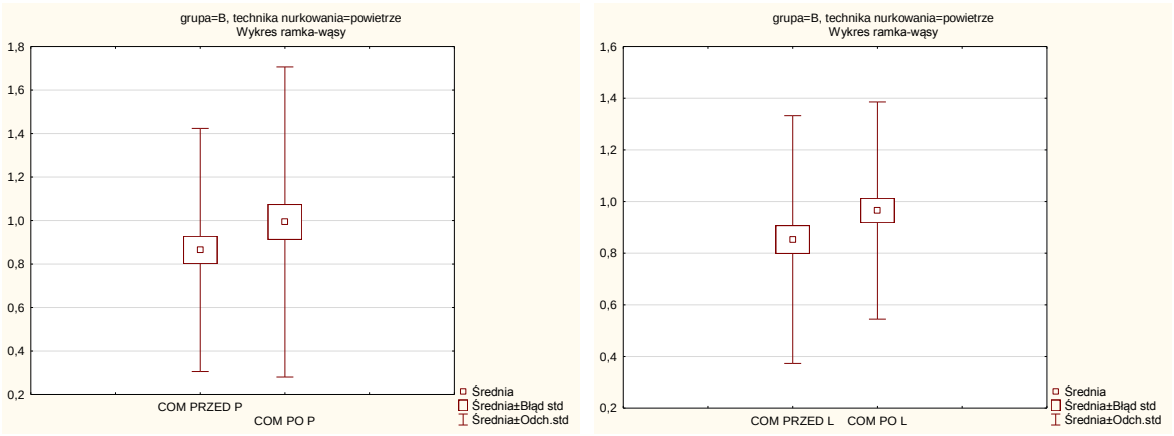
Para zmiennych	grupa=*B-POW*, technologia nurkowania=*powietrze* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	75	679,000	3,939295	0,000082
COM PRZED L & COM PO L	77	593,500	4,610340	0,000004

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.38. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- -nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze.

Zmienna	grupa=*B-POW*, technologia nurkowania=*powietrze* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	77	0,86468	0,75000	0,000	3,6000	0,55907
COM PO P	77	0,99351	0,86000	0,000	5,1600	0,71302
COM PRZED L	77	0,85286	0,82000	0,000	3,9900	0,47956
COM PO L	77	0,96519	0,98000	0,000	2,6500	0,42048



Ryc. 5.17. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POW.

W przeprowadzonej analizie wpływu technologii nurkowania: powietrze na wyniki tympanometrii w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami wszystkich oznaczonych zmiennych tympanometrycznych (**MEP, COM**).

V.5.1.2. Czynnik oddechowy: tlen (O_2)

W przeprowadzonej analizie wpływu technologii nurkowania: tlen na wyniki tympanometrii w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania tlen (B-O_2) na poziomie istotności p=0,037 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **MEP PO P** (18,929±42,012) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PRZED P** (3,214±6,053).

Poniżej tabele i wykres reprezentujące tą różnicę:

Tab. 5.39. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen.

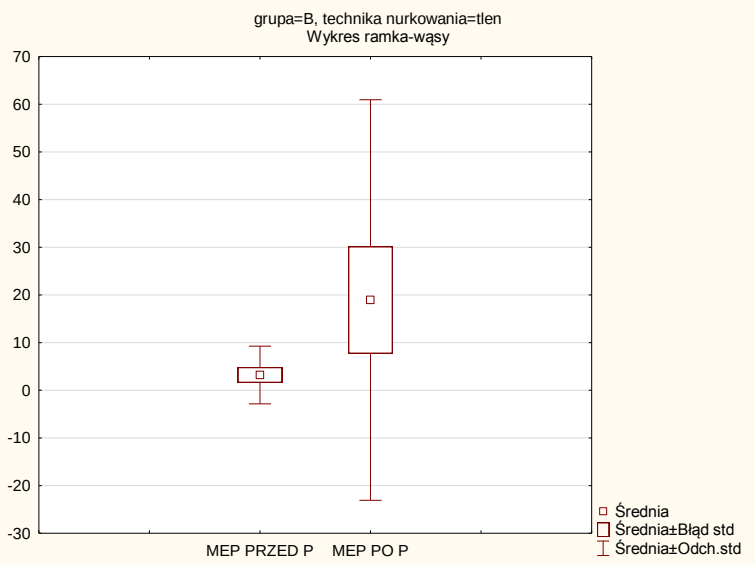
Para zmiennych	grupa=*B-O_2*, technologia nurkowania=*tlen* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	12	12,50000	2,078831	0,037634

Objaśnienia: MEP P- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.40. Wartości średnie dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen.

Zmienna	grupa=*B-O_2*, technologia nurkowania=*tlen* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	14	3,21429	4,50000	-9,00000	12,0000	6,05333
MEP PO P	14	18,92857	7,50000	-3,00000	162,0000	42,01184



Ryc. 5.18. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-O_2.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania tlen (B-O_2) na poziomie istotności p=0,009 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho Lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,916±0,291) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,848±0,267).

Poniżej tabele i wykres przedstawiający te różnice:

Tab. 5.41. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen.

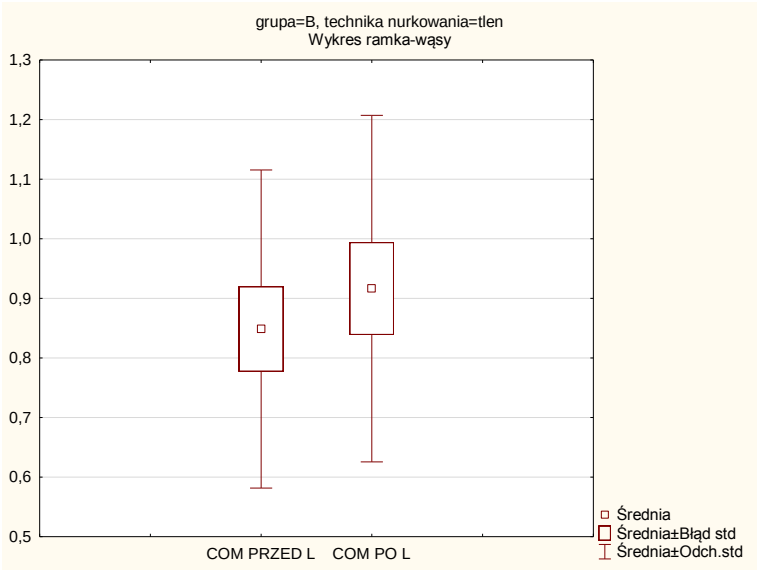
Para zmiennych	grupa=*B-O_2*, technologia nurkowania=*tlen* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED L & COM PO L	14	11,00000	2,605224	0,009182

Objaśnienia: COM L- podatność ucha środkowego- ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.42. Wartości średnie dla COM L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- -nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen.

Zmienna	grupa=*B-O_2*, technologia nurkowania=*tlen* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED L	14	0,84857	0,80000	0,31000	1,3800	0,26692
COM PO L	14	0,91643	0,93000	0,35000	1,5000	0,29077



Ryc. 5.19. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L I PO L (podatność ucha środkowego Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-O_2.

V.5.1.3. Czynnik oddechowy: mieszanina (MIESZ)

W przeprowadzonej analizie wpływu technologii nurkowania: mieszanina na wyniki tympanometrii w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej w technologii nurkowania mieszanina (B-MIESZ) na poziomie istotności p=0,021 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho Prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,976±0,705) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,776±0,471).

Poniżej tabele i wykres reprezentujące tą różnicę:

Tab. 5.43. Wartości średnie dla COM P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-MIESZ)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- mieszanina.

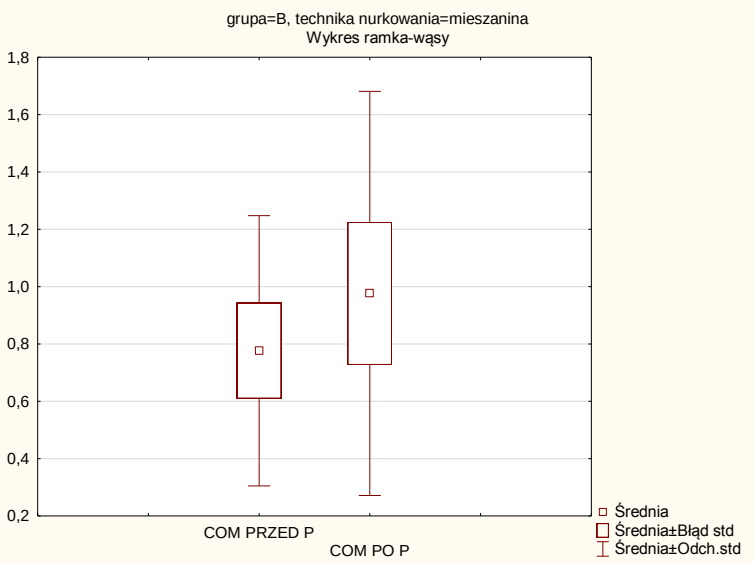
Para zmiennych	grupa=*B-MIESZ*, technologia nurkowania=*mieszanina* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	8	1,50000	2,310462	0,020863

Objaśnienia: COM P- podatność ucha środkowego- ucho Prawe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.44. Wartości średnie dla COM P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-MIESZ)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- mieszanina.

Zmienna	grupa=*B-MIESZ*, technologia nurkowania=*mieszanina* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	8	0,77625	0,65000	0,140	1,6800	0,47129
COM PO P	8	0,97625	0,82500	0,230	2,5600	0,70492



Ryc. 5.20. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P I PO P (podatność ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-MIESZ.

- W grupie badanej (B- nurkowie) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami zmiennych **MEP** (ciśnienie ucha środkowego) dla technologii nurkowania: mieszanina.

V.6. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od dolegliwości zgłaszanych przez badanych w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu)

W dalszej części prowadzonych badań dokonano oceny problemów i dolegliwości jakie zgłaszali badani w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) i czy przekładały się one na uzyskane wyniki pomiarów tympanometrycznych.

W celu przeprowadzenia tego typu analizy dokonano podziału osób biorących udział w badaniu na dwie grupy: zgłaszał dolegliwości/ nie zgłaszał dolegliwości.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria, w grupie badanej (B-nurkowie) odnotowano 27 osób (27% badanych grupy B), a w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego)- 7 osób (18% badanych grupy K), które zgłaszały problemy i dolegliwości w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu). W obu grupach badawczych wśród dolegliwości najczęściej zgłaszanym był problem wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego, najczęściej podczas zanurzania (sprężania). Te dolegliwości odnotowano u 15 nurków grupy badanej (B) i 7 osób w grupie kontrolnej (K). Objawem towarzyszącym utrudnionego przedmuchu był ból ucha z narastającym uciskiem i zatkaniem ucha (tego typu dolegliwości w grupie badanej (B) zgłaszało 10 nurków, a w grupie kontrolnej (K) 4 osoby, które w efekcie końcowym przerwały swój udział w szkoleniu). W grupie badanej nurków (B) objawy ucisku i bólu uszów ustępowały w większości przypadku po uzyskaniu prawidłowego przedmuchu w wyniku wykonywanych manewrów wyrównujących ciśnienie w przestrzeniach ucha środkowego. Uczucie „zatkania" ucha, które część badanych podawało po nurkowaniu (sprężaniu) u wszystkich badanych ustępowało samoistnie w okresie 15-30 min. po zakończonym szkoleniu. Żaden nurek z grupy badanej nie przerwał swoje udziału w szkoleniu.

Dodatkowo w/w objawom w większości przypadków towarzyszyły, opisywane wg skali Teedsa, zmiany otoskopowe wyglądu błony bębenkowej. W grupie badanej, u 25 nurków zgłaszających dolegliwości podczas nurkowania (sprężania) zaobserwowano zmiany otoskopowe wyglądu błony bębenkowej odpowiadające 1 st. wg Teedsa (T1) i 2 zmiany charakterystyczne dla stopnia 2 (T2). Analogiczne w grupie kontrolnej oceniając otoskopowo wygląd błon bębenkowych, 2 przypadki oceniono na T1, 4 przypadki na T2 i jeden przypadek na T3. Co ciekawe u części osób biorących udział w badaniu, które nie zgłaszały żadnych dolegliwości podczas nurkowania (sprężania), również stwierdzono zmiany w wyglądzie błony bębenkowej. W grupie badanej nurków nie zgłaszających dolegliwości odnotowano u 11 osób zmiany otoskopowe charakterystyczne dla 1 st. skali Teedsa (T1), a w grupie kontrolnej 2 osoby, również z T1. Dodatkowo w grupie kontrolnej u 4 osób podczas sprężania w komorze hiperbarycznej, wystąpił silny ból uszu, nie ustępujący po próbach manewrów wyrównujących ciśnienie w uchu środkowym. Konsekwencją tych dolegliwości było przerwanie sprężania tych osób w komorze hiperbarycznej. W badaniu laryngologicznym, po wyjściu z komory hiperbarycznej opisywanych osób z grupy kontrolnej, nie stwierdzono jednak żadnych odstępstw w wyglądzie błony bębenkowej i w badaniu tympanometrycznym. Wysoce prawdopodobne jest to, że u tych osób (młodzi, niedoświadczeni „nurkowo"

ludzie), mógł zadziałać czynnik psychologiczny (stres, strach itp.), który spowodował reakcję „obronną” badanych w postaci tak nasilonych dolegliwości.

V.6.1. Analiza korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z dolegliwościami zgłaszanymi po nurkowaniu (sprężaniu)

W przeprowadzonej analizie występowania korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z dolegliwościami zgłaszanymi po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B- nurkowie) i w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:

- *Nie zaobserwowano* istotnych statystycznie korelacji dla zmiennych przed nurkowaniem (sprężaniem) dla obu grup badawczych (B i K),
- *Zaobserwowano* istotne statystycznie korelacje na poziomie istotności p=0,049 miedzy **MEP PO P** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho prawe), a dolegliwościami zgłaszanymi po nurkowaniu (sprężaniu) dla obu grup badawczych (B i K). Wartość współczynnika R Spearmana wynosiła R=0,17,
- *Zaobserwowano* istotne statystycznie korelacje na poziomie istotności p=0,019 miedzy **MEP PO L** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho lewe), a dolegliwościami zgłaszanymi po nurkowaniu (sprężaniu) dla obu grup badawczych (B i K). Wartość współczynnika R Spearmana wynosiła R=0,20.

V.6.2. Analiza wyników pomiarów tympanometrycznych w zależności od dolegliwości zgłaszanych (DOL) przez badanych każdej z grup w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu)

W celu przeprowadzenia powyższej analizy wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP-ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

V.6.2.1. Analiza pomiarów zmiennej MEP (ciśnienie ucha środkowego) w zależności od zgłaszanych przez badanych dolegliwości

1. W przeprowadzonej analizie zależności pomiarów zmiennej **MEP** od zgłaszanych dolegliwości w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej zgłaszającej dolegliwości (B-DOL+) na poziomie istotności p=0,011 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **MEP PO P** (27,370±49,436) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PRZED P** (-0,074±72,911),
- Natomiast różnica dla zmiennej **MEP L** (ciśnienie ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu *nie jest istotna statystycznie.*

Poniżej tabele i wykres reprezentujący tę różnicę (tylko dla istotnych statystycznie-UP):

Tab. 5.45. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+)- nurkowie zgłaszający dolegliwości.

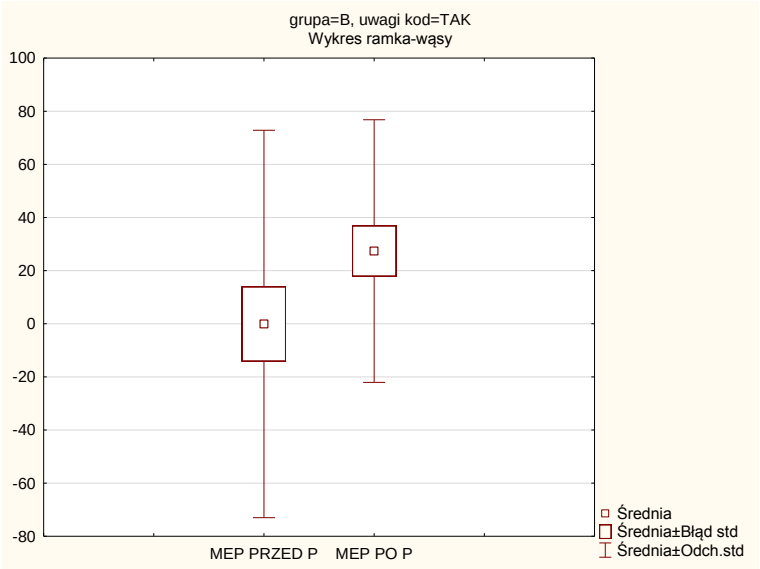
Para zmiennych	grupa=*B-DOL+*, uwagi kod=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	25	68,0000	2,542703	0,011000
MEP PRZED L & MEP PO L	25	149,0000	0,363243	0,716423

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.46. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+) -nurkowie zgłaszający dolegliwości.

Zmienna	grupa=*B-DOL+*, uwagi kod=*TAK* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	27	-0,07407	3,00000	-296,000	200,0000	72,91139
MEP PRZED L	27	25,37037	6,00000	-12,000	200,0000	46,73258
MEP PO P	27	27,37037	15,00000	-56,000	175,0000	49,43617
MEP PO L	27	26,88889	12,00000	-12,000	175,0000	41,34501



Ryc. 5.21. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-DOL+.

- W grupie osób badanych (B-DOL-), które nie zgłaszały dolegliwości *nie istnieje istotna statystycznie* różnica dla zmiennej **MEP P i L** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

Tabela z wartościami p poniżej:

Tab. 5.47. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL-)- nurkowie bez dolegliwości.

Para zmiennych	grupa=*B-DOL-*, uwagi kod=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	61	847,0000	0,707503	0,479254
MEP PRZED L & MEP PO L	61	736,0000	1,504792	0,132379

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

2. W przeprowadzonej analizie zależności pomiarów zmiennej **MEP** od zgłaszanych dolegliwości w grupie kontrolnej (K-osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:

- W grupie kontrolnej osób zgłaszających dolegliwości w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) (K-DOL+) jak i u osób, które nie zgłaszały dolegliwości (K-DOL-),

na podstawie testu kolejności par Wilcoxona wykazano, że *nie istnieje istotna statycznie* różnica dla zmiennej **MEP P i L** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe i lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

Wartości p poniżej w tabelach:

Tab. 5.48. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-DOL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego zgłaszające dolegliwości.

Para zmiennych	grupa=*K-DOL+*, uwagi kod=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	7	12,50000	0,253546	0,799846
MEP PRZED L & MEP PO L	7	10,00000	0,676123	0,498963

Tab. 5.49. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-DOL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego bez dolegliwości.

Para zmiennych	grupa=*K-DOL-*, uwagi kod=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	30	138,5000	1,933424	0,053185
MEP PRZED L & MEP PO L	28	175,5000	0,626214	0,531175

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.6.2.2. Analiza pomiarów zmiennej COM (podatność ucha środkowego) w zależności od zgłaszanych dolegliwości przez badanych

1. W przeprowadzonej analizie zależności pomiarów zmiennej **COM** od zgłaszanych dolegliwości w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- W grupie osób badanych zgłaszających dolegliwości w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) (B-DOL+) jak i u osób, które nie zgłaszały dolegliwości (B-DOL-), na podstawie testu kolejności par Wilcoxona wykazano, że *nie istnieje istotna statycznie* różnica dla zmiennej **COM P i L** (podatność ucha środkowego- ucho prawe i lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

2. W przeprowadzonej analizie zależności pomiarów zmiennej **COM** od zgłaszanych dolegliwości w grupie kontrolnej (K-osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:
   - W grupie kontrolnej osób zgłaszających dolegliwości w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) (K-DOL+) jak i u osób, które nie zgłaszały dolegliwości (K-DOL-), na podstawie testu kolejności par Wilcoxona wykazano, że *nie istnieje istotna statycznie* różnica dla zmiennej **COM P i L** (podatność ucha środkowego- ucho prawe i lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

V.6.3. Analiza wpływu zgłaszanych dolegliwości na wartości średnie zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup

W kolejnym etapie analizy prowadzonych badań sprawdzono czy istnieją istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi pomiarów każdej zmiennej u osób zgłaszających dolegliwości (DOL+) i nie zgłaszających dolegliwości (DOL-) w obu grupach (badanej-B i kontrolnej-K).
W tym celu posłużono się z testem nieparametrycznym U Manna-Whitneya.
Poniżej przedstawiono tylko istotne statystycznie wnioski z przeprowadzonej analizy:

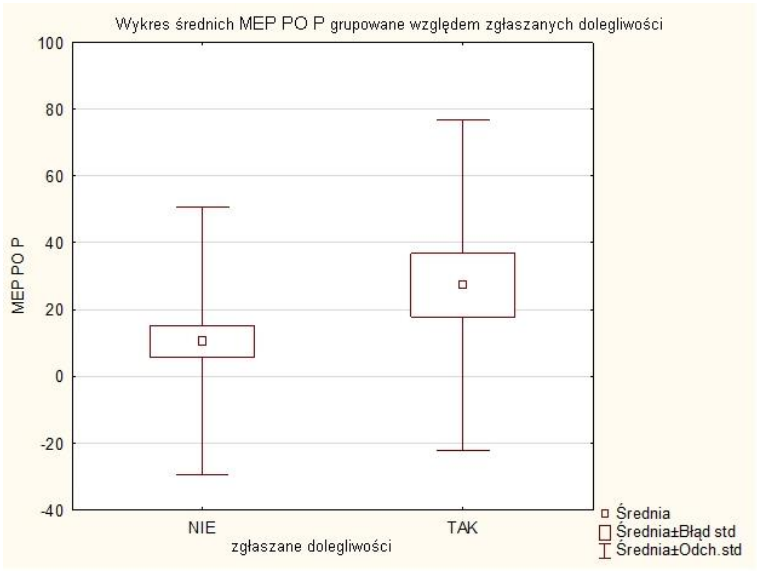
- W grupie badanej (B-nurkowie) na poziomie istotności p=0,027 *istnieje istotnie statystyczna* różnica między średnimi wartościami dla zmiennej **MEP PO P** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho prawe) u osób zgłaszających dolegliwości (**DOL+**) a **MEP PO P** u osób nie zgłaszających dolegliwości (**DOL-**). Wartość średnia dla **MEP PO P (DOL+)**=(27,370±49,436) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PO P (DOL-)=**(10,507±40,109).

Poniżej tabela i wykres reprezentujący tę różnicę:

Tab. 5.50. Wartości średnie dla MEP P po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+ i DOL-)--nurkowie zgłaszający i nie zgłaszający dolegliwości.

Zmienna	grupa=B, Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PO P (DOL+)TAK	27	27,37037	15,00000	-56,0000	175,0000	49,43617
MEP PO P (DOL-)NIE	71	10,50704	3,000000	-125,000	156,0000	40,10909

Objaśnienia: MEP P- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe



Ryc. 5.22. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Po nurkowaniu) względem grup B-DOL- i B-DOL+.

- W grupie badanej (B- nurkowie) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami zmiennych **COM** (podatność ucha środkowego) dla osób zgłaszających i nie zgłaszających dolegliwości,
- W grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami wszystkich oznaczonych zmiennych tympanometrycznych (**MEP, COM**) dla osób zgłaszających i nie zgłaszających dolegliwości.

V.7. Wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej w zależności od wywiadu laryngologicznego (ORL)

W kolejnym etapie badań poddano analizie występowanie chorób i dolegliwości o podłożu laryngologicznym w grupie badanej (B) i kontrolnej (K) i czy mają one wpływ na uzyskane wyniki pomiarów tympanometrycznych.

W celu przeprowadzenia tej analizy wyodrębniono grupę osób z „obciążonym" wywiadem laryngologicznym (ORL), do której zaliczono wszystkich badanych, którzy w przeprowadzonym wywiadzie lekarskim podawali informacje dotyczące specjalistycznego leczenia laryngologicznego w przeszłości.

W grupie badanej (B-nurkowie) odnotowano 40 osób (40% badanych grupy B) leczonych i diagnozowanych przez laryngologa w przeszłości. W przeprowadzonym wywiadzie lekarskim występowały:

- zabiegi operacyjne m.in. operacje przegrody nosa, repozycja złamania kości nosa, operacje zatok, adenotomie i tonsillektomie- stwierdzono o 25 nurków,
- stany zapalne błony śluzowej nosa i zatok (min. okresowo występujący alergiczny nieżyt nosa)- stwierdzono u 8 nurków,
- uszkodzenie słuchu (min. urazy akustyczne- po leczeniu szpitalnym, niedosłuch st. I wg WHO do 40 dB)- stwierdzono u 4 nurków,
- urazy ciśnieniowe ucha i zatok w przeszłości- stwierdzono u 3 nurków.

W grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) odnotowano 10 osób (26% badanych grupy K) leczących się laryngologicznie w przeszłości. Wśród problemów laryngologicznych najczęściej były wymieniane:

- leczenie operacyjne przerostu i stanów zapalnych migdałka gardłowego i migdałków podniebiennych (adenotomie i tonsillektomie) oraz operacje przegrody nosa (septoplastyki)- łącznie leczonych operacyjnie w grupie kontrolnej było 6 osób,
- 4 osoby zgłaszały okresowo występujące stany zapalne błony śluzowej nosa i zatok, głównie o podłożu alergicznym.

V.7.1. Analiza korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z wywiadem laryngologicznym (ORL)

W początkowej fazie prowadzonej analizy sprawdzono czy porównawcze wyniki tympanometrii korelują z „obciążonym" wywiadem laryngologicznym (ORL+).
Do odpowiedzi na to pytanie zastosowano współczynnik korelacji porządku rang Spearmana.

W wyniku przeprowadzonej analizy występowania korelacji wyników pomiarów tympanometrycznych z wywiadem ORL w grupie badanej (B- nurkowie) i w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:

- *Nie zaobserwowano* istotnych statystycznie korelacji dla zmiennych przed nurkowaniem (sprężaniem) dla obu grup badawczych (B i K),
- *Nie zaobserwowano* istotnych statystycznie korelacji dla zmiennych po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K),

- *Zaobserwowano* istotne statystycznie korelacje na poziomie istotności p=0,043 miedzy **MEP PO P** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho prawe), a wywiadem ORL dla grupy badanej (B). Wartość współczynnika R Spearmana wynosiła R=0,20,
- *Zaobserwowano* istotne statystycznie korelacje na poziomie istotności p=0,023 miedzy **MEP PO L** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho lewe), a wywiadem ORL dla grupy badanej (B). Wartość współczynnika R Spearmana wynosiła R=0,22.

V.7.2. Analiza wpływu wywiadu laryngologicznego (ORL) na porównawcze wyniki tympanometrii przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w każdej z grup

W celu przeprowadzenia analizy powyższego problemu wykorzystano test kolejności par Wilcoxona dla zmiennych uzyskanych w przeprowadzonych pomiarach tympanometrycznych: MEP-ciśnienie ucha środkowego; COM- podatność ucha środkowego.

V.7.2.1.Analiza wpływu wywiadu ORL na zmienną MEP (ciśnienie ucha środkowego)

1. W przeprowadzonej analizie wpływu wywiadu ORL na zmienną **MEP** w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej obciążonej laryngologicznie (B-ORL+) na poziomie istotności p=0,049 dla zmiennej **MEP P** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **MEP PO P** (24,200±41,681) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PRZED P** (10,525±34,913),
- Natomiast różnica dla zmiennej **MEP L** (ciśnienie ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu *nie jest istotna statystycznie.*

Poniżej tabele i wykres reprezentujący tę różnicę (tylko dla istotnych statystycznie-UP):

Tab. 5.51. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- nurkowie obciążeni laryngologicznie.

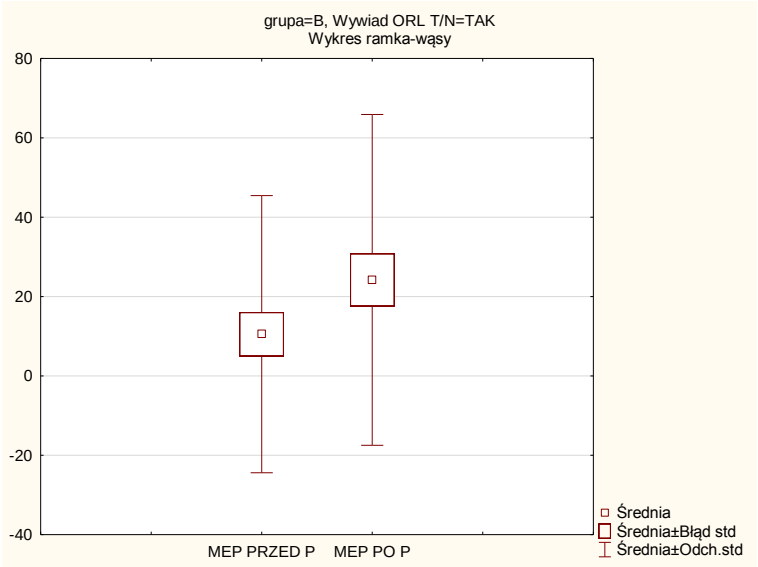
Para zmiennych	grupa=*B-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	34	182,5000	1,966099	0,049288
MEP PRZED L & MEP PO L	36	222,0000	1,743874	0,081182

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.52. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)--nurkowie obciążeni laryngologicznie.

Zmienna	grupa=*B-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PRZED P	40	10,52500	3,00000	-28,0000	200,0000	34,91307
MEP PO P	40	24,20000	12,00000	-31,0000	162,0000	41,68145
MEP PRZED L	40	16,85000	6,00000	-34,0000	200,0000	41,28050
MEP PO L	40	24,52500	12,00000	-15,0000	175,0000	40,52602



Ryc. 5.23. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL+.

- W grupie osób badanych (B-ORL-) nie obciążonych laryngologicznie *nie istnieje istotna statystycznie* różnica dla zmiennej **MEP P i L** (ciśnienie ucha środkowego--ucho prawe lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

Tabela z wartościami p poniżej:

Tab. 5.53. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)- nurkowie nie obciążeni laryngologicznie.

Para zmiennych	grupa=*B-ORL-*, Wywiad ORL T/N=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	53	583,0000	1,172991	0,240800
MEP PRZED L & MEP PO L	50	578,5000	0,569543	0,568988

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

2. W przeprowadzonej analizie wpływu wywiadu ORL na zmienną **MEP** w grupie kontrolnej (K-osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:

- W grupie kontrolnej osób obciążonych (K-ORL+) jak i nie obciążonych laryngologicznie (K-ORL-) na podstawie testu kolejności par Wilcoxona wykazano, że *nie istnieje istotna statycznie* różnica dla zmiennej **MEP P i L** (ciśnienie ucha środkowego- ucho prawe i lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

Wartości p poniżej w tabelach:

Tab. 5.54. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego obciążeni laryngologicznie.

Para zmiennych	grupa=*K-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	9	21,50000	0,118470	0,905696
MEP PRZED L & MEP PO L	8	17,00000	0,140028	0,888638

Tab. 5.55. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego nie obciążeni laryngologicznie.

Para zmiennych	grupa=*K-ORL-*, Wywiad ORL T/N=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
MEP PRZED P & MEP PO P	28	119,5000	1,901414	0,057249
MEP PRZED L & MEP PO L	27	139,5000	1,189237	0,234347

Objaśnienia: MEP P i L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

V.7.2.2. Analiza wpływu wywiadu ORL na zmienną COM (podatność ucha środkowego)

1. W przeprowadzonej analizie wpływu wywiadu ORL na zmienną **COM** w grupie badanej (B- nurkowie), stwierdzono:

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej obciążonej laryngologicznie (B-ORL+) na poziomie istotności p=0,0002 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (1,104±0,791) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,924±0,617),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie badanej obciążonej laryngologicznie (B-ORL+) na poziomie istotności p=0,0003 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,975±0,322) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,855±0,279).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujące tę różnicę:

Tab. 5.56. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- nurkowie obciążeni laryngologicznie.

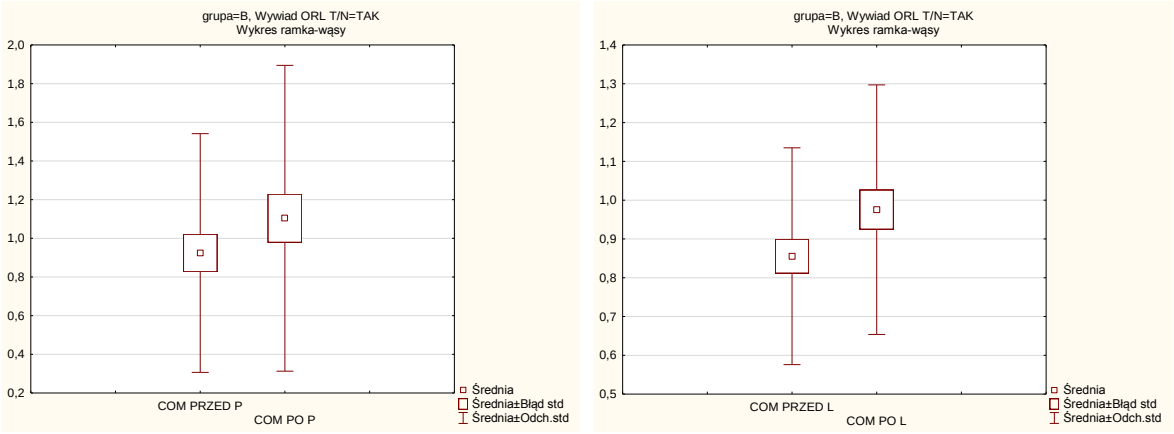
Para zmiennych	grupa=*B-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	39	141,5000	3,467817	0,000525
COM PRZED L & COM PO L	40	140,0000	3,629150	0,000284

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.57. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)--nurkowie obciążeni laryngologicznie.

Zmienna	Grupa=*B-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	40	0,92400	0,74000	0,0000	3,6000	0,61735
COM PRZED L	40	0,85550	0,84500	0,0000	1,3800	0,27947
COM PO P	40	1,10375	0,92000	0,2900	5,1600	0,79082
COM PO L	40	0,97550	1,00500	0,2900	1,8200	0,32173



Ryc. 5.24. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL+.

- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie osób badanych nie obciążonych laryngologicznie (B-ORL-) na poziomie istotności p=0,0034 dla zmiennej **COM P** (podatność ucha środkowego- ucho prawe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO P** (0,88831±0,56024) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED P** (0,81051±0,44362),
- Istnieje istotna statystycznie różnica w grupie osób badanych nie obciążonych laryngologicznie (B-ORL-) na poziomie istotności p<0,05 dla zmiennej **COM L** (podatność ucha środkowego- ucho lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu). Wartość średnia dla **COM PO L** (0,935±0,457) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **COM PRZED L** (0,831±0,526).

Poniżej tabele i wykresy reprezentujące tę różnicę:

Tab. 5.58. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)- nurkowie nie obciążeni laryngologicznie.

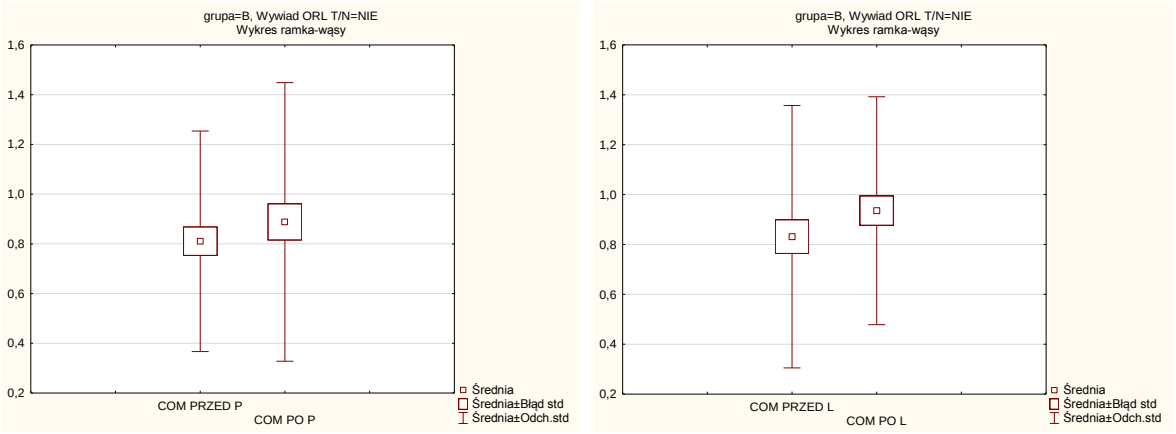
Para zmiennych	grupa=*B-ORL-*, Wywiad ORL T/N=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	57	457,5000	2,931782	0,003370
COM PRZED L & COM PO L	58	334,5000	4,033763	0,000055

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

* Wartości zaznaczone na czerwono są istotne statystycznie

Tab. 5.59. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)--nurkowie nie obciążeni laryngologicznie.

Zmienna	grupa=*B-ORL-*, Wywiad ORL T/N=*NIE* Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
COM PRZED P	59	0,81051	0,81000	0,100	2,2500	0,44362
COM PRZED L	59	0,83119	0,78000	0,310	3,9900	0,52597
COM PO P	59	0,88831	0,78000	0,000	2,5600	0,56024
COM PO L	59	0,93542	0,93000	0,000	2,6500	0,45677



Ryc. 5.25. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL-.

2. W przeprowadzonej analizie wpływu wywiadu ORL na zmienną **COM** w grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego), stwierdzono:

- W grupie kontrolnej obciążonych (K-ORL+) jak i nie obciążonych laryngologicznie (K-ORL-) na podstawie testu kolejności par Wilcoxona wykazano, że *nie istnieje istotna statycznie* różnica dla zmiennej **COM P i L** (podatność ucha środkowego- ucho prawe i lewe) przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

Wartości p poniżej w tabelach:

Tab. 5.60. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego obciążeni laryngologicznie.

Para zmiennych	grupa=*K-ORL+*, Wywiad ORL T/N=*TAK* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	9	15,00000	0,888523	0,374260
COM PRZED L & COM PO L	8	16,00000	0,280056	0,779435

Objaśnienia: COM P i L- podatność ucha środkowego- ucho Prawe i ucho Lewe

Tab. 5.61. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego nie obciążeni laryngologicznie.

Para zmiennych	grupa=*K-ORL-*, Wywiad ORL T/N=*NIE* Test kolejności par Wilcoxona (dane KP) Zaznaczone wyniki są istotne z p <,05000			
	N Ważnych	T	Z	p
COM PRZED P & COM PO P	27	153,5000	0,852887	0,393722
COM PRZED L & COM PO L	25	154,5000	0,215255	0,829568

V.7.3. Analiza wpływu wywiadu ORL na wartości średnie zmiennych tympanometrycznych w każdej z grup

Kolejnym etapem prowadzonych badań było sprawdzenie czy istnieją istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi obciążonych (ORL+) i nieobciążonych laryngologicznie (ORL-) dla każdej zmiennej w obu grupach (badanej-B i kontrolnej-K).
W tym celu posłużono się z testem nieparametrycznym Kruskala-Wallisa.
Poniżej przedstawiono tylko istotne statystycznie wnioski z przeprowadzonej analizy:

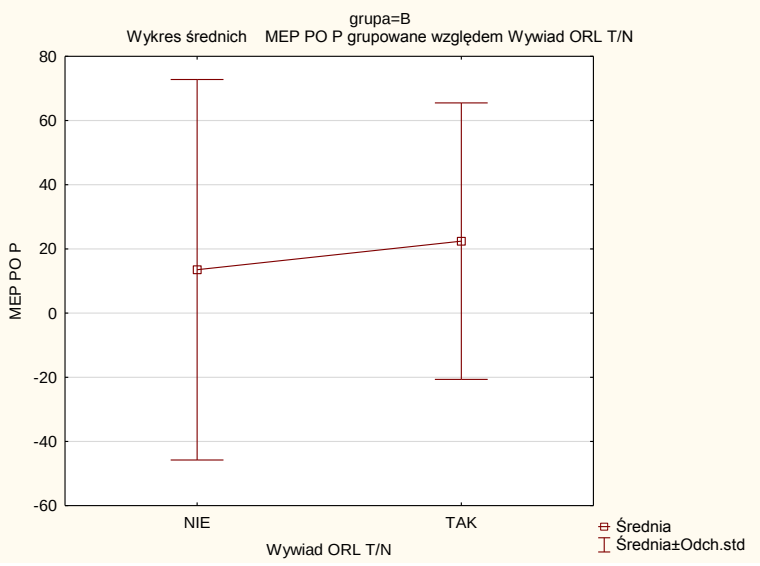
- W grupie badanej (B-nurkowie) na poziomie istotności p=0,051 *istnieje istotnie statystyczna* różnica między średnimi wartościami dla zmiennej **MEP PO P** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho prawe) obciążonych laryngologicznie (**ORL+**) a **MEP PO P** nie obciążonych laryngologicznie (**ORL-**). Wartość średnia dla **MEP PO P (ORL+)**=(24,200±41,681) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PO P (ORL-)**=(8,763±43,253).

Poniżej tabela i wykres reprezentujący tę różnicę:

Tab. 5.62. Wartości średnie dla MEP P po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+ i ORL-)--nurkowie obciążeni i nie obciążeni laryngologicznie.

Zmienna	grupa=B, Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PO P (ORL+)TAK	40	24,20000	12,00000	-31,0000	162,0000	41,68145
MEP PO P (ORL-)NIE	59	8,76271	3,00000	-125,000	175,0000	43,25280

Objaśnienia: MEP P- ciśnienie ucha środkowego- ucho Prawe



Ryc. 5.26. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Po nurkowaniu) względem grup B-ORL- i B-ORL+.

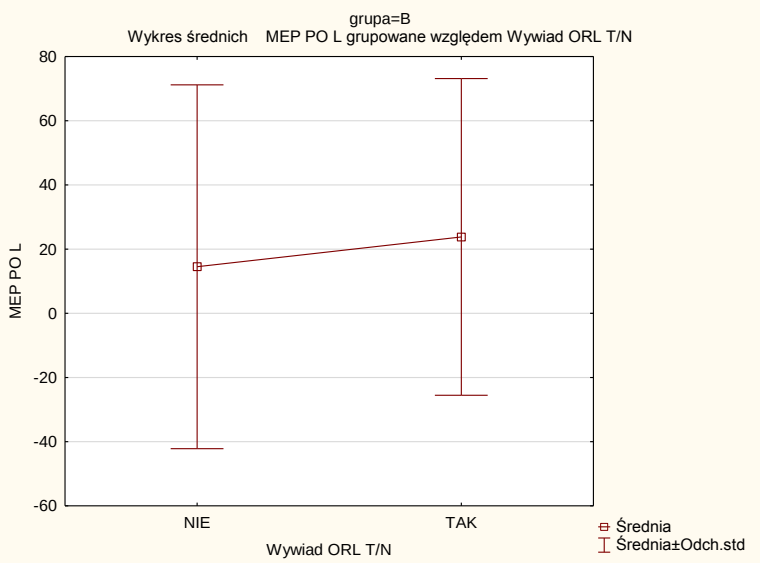
- W grupie badanej (B-nurkowie) na poziomie istotności p=0,03 *istnieje istotnie statystyczna* różnica między średnimi wartościami dla zmiennej **MEP PO L** (ciśnienie ucha środkowego po nurkowaniu- ucho lewe) obciążonych laryngologicznie (**ORL+**) a **MEP PO L** nie obciążonych laryngologicznie (**ORL-**). Wartość średnia dla **MEP PO L (ORL+)**=(24,525±40,526) *jest istotnie statystycznie wyższa* w porównaniu z **MEP PO L (ORL-)=**(13,254±41,794).

Poniżej tabela i wykres reprezentujący tę różnicę:

Tab. 5.63. Wartości średnie dla MEP L po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+ i ORL-)--nurkowie obciążeni i nie obciążeni laryngologicznie.

Zmienna	grupa=B, Statystyki opisowe (dane KP)					
	NWażnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch.std.
MEP PO L (ORL+)TAK	40	24,52500	12,00000	-15,0000	175,0000	40,52602
MEP PO L (ORL-)NIE	59	13,25424	3,00000	-87,000	146,0000	41,79366

Objaśnienia: MEP L- ciśnienie ucha środkowego- ucho Lewe



Ryc. 5.27. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO L (ciśnienie ucha środkowego Lewego Po nurkowaniu) względem grup B-ORL- i B-ORL+.

- W grupie badanej (B- nurkowie) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami zmiennych **COM** (podatność ucha środkowego) dla osób obciążonych i nieobciążonych laryngologicznie,

- W grupie kontrolnej (K- osoby bez doświadczenia nurkowego) *nie stwierdzono istotnie statystycznie* różnic między średnimi wartościami wszystkich oznaczonych zmiennych tympanometrycznych (**MEP, COM**) dla osób obciążonych i nieobciążonych laryngologicznie.

VI. DYSKUSJA

Nurkowanie to obecnie bardzo popularny sport i forma spędzania wolnego czasu. Z każdym rokiem zyskuje coraz więcej sympatyków, którzy poznają niezwykłe bogactwo i piękno podwodnego świata. Niestety obserwowany obecnie trend wzrostu liczby nurkujących przekłada się na zwiększenie liczby wypadków i urazów związanych z nurkowaniem. Zdecydowana większość problemów zdrowotnych z którymi borykają się osoby nurkujące dotyczy rejonu głowy i szyi, gdzie dominują dolegliwości związane z urazem ciśnieniowym (tzw. barotraumą) ucha środkowego.

Główną przyczyną barotraumy ucha środkowego jest dysfunkcja trąbek słuchowych, uniemożliwiająca prawidłowe wyrównanie ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej, najczęściej w czasie zanurzania, rzadko podczas wynurzania nurka.
Problemy z wyrównaniem ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego uniemożliwiające kontynuację zanurzania i stwarzające ryzyko uszkodzenia ciśnieniowego ucha, są częstą przyczyną zgłaszania się nurków po specjalistyczną poradę i pomoc otolaryngologa.

Już podczas pierwszej wizyty konsultacyjnej, lekarz laryngolog posiadający elementarną wiedzę z zakresu medycyny nurkowej, na podstawie prawidłowo przeprowadzonego wywiadu lekarskiego ukierunkowanego na tematykę nurkową, połączonego z badaniem (wziernikowaniem) ucha, może postawić rozpoznanie wstępne odnośnie miejsca, stopnia i mechanizmu uszkodzenia ucha. W procesie diagnostycznym baratraumy ucha środkowego bardzo ważną rolę odgrywają badania audiometryczne słuchu.

W praktyce klinicznej najbardziej popularną i rozpowszechnioną obiektywną metodą badania słuchu jest audiometria impedancyjna, która ze względu na swoją nieinwazyjność, krótki czas pomiarów i dużą wiarygodność diagnostyczną może być cennym narzędziem w procesie monitorowania i diagnostyki zaburzeń funkcji trąbki słuchowej i ucha środkowego u nurków z uwzględnieniem wystąpienia ryzyka urazu ciśnieniowego ucha środkowego.

Nadrzędnym celem pracy była ocena za pomocą audiometrii impedancyjnej wpływu wykonywanych nurkowań na fizjologiczny i anatomiczny stan błony bębenkowej oraz ucha środkowego wykonywana w warunkach rzeczywistych i pozorowanych nurkowań.

Wieloletnia ekspozycja hiperbaryczna osób nurkujących może mieć odległy i negatywny wpływ na funkcjonowanie ucha środkowego. Do takich wniosków doszli

m.in. Cyran i wsp. [107], którzy w jednej z pierwszych tego typu publikacji w Polsce, przedstawili wyniki badań pomiarów tympanometrycznych ucha środkowego wykonanych u nurków rekreacyjnych i nie nurkujących, zdrowych ochotników. Badacze stwierdzili znacząco niższe ciśnienie w jamie bębenkowej i podatność błony bębenkowej w grupie osób nurkujących. Obserwowane w obu grupach badanych różnice w zapisach tympanometrycznych, według autorów powyższej publikacji, mogą sugerować negatywny wpływ nurkowania na stan narządu słuchu.

W badaniach własnych, w analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych wykonywanych osobno dla każdego ucha w grupach badawczych (nurkowie i osoby bez doświadczenia nurkowego) stwierdzono u nurków wyższą podatność ucha środkowego lewego (zmienna COM L). Obserwowany wzrost podatności ucha środkowego u nurków w porównaniu do osób z grupy kontrolnej (osoby bez doświadczenia nurkowego), zanotowano zarówno w pomiarach tympanometrycznych wykonanych przed, jak i po nurkowaniu (sprężaniu). Ze względu na fakt, że otrzymane wyniki analizy dla ucha Lewego były na granicy istotności (p=0,050) , a dla ucha Prawego nie wykazano istotnie statystycznej różnicy, dla całości obrazu analizowanego zagadnienia, w dalszej części badań wykonano analizę porównawczą uśrednionych wyników pomiarów dla uszu (bez podziału na strony) i porównano je między grupami badawczymi. Przeprowadzona w ten sposób analiza uśrednionych zmiennych tympanometrycznych wykazała istotną statystycznie wyższą podatność ucha środkowego u nurków po zdarzeniu, czyli nurkowaniu (sprężaniu) (zmienna COM PO ŚR), w porównaniu do osób bez doświadczenia nurkowego. Tutaj należy zaznaczyć, że stwierdzone podwyższone wartości podatności u nurków nadal zawierały się w granicach normy tympanometrycznej (COM PO ŚR- 0,96±0,49 ml- przyjęta norma 0,3-1,6 ml).

W podobny, jak w wyżej opisany sposób, przeprowadzono analizę porównawczą wartości ciśnienia ucha środkowego (zmienna MEP). Tym razem nie zaobserwowano istotnie statystycznie różnic zmiennej MEP pomiędzy grupami nurków i osób bez doświadczenia nurkowego.

W celu dokładniejszego zbadania otrzymanych powyżej zależności statycznych wyników pomiarów tympanometrycznych, porównano uśrednione pomiary wartości zmiennych, tym razem osobno dla każdej z grup badanych. Przeprowadzona w ten sposób analiza porównawcza wykazała w grupie nurków zauważalnie wyższe wartości średnie ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP PO ŚR) i podatności ucha środkowego

(zmienna COM PO ŚR) po nurkowaniu (sprężaniu). I również w tym przypadku, uśrednione podwyższone wartości zmiennych utrzymywały się w granicach przyjętych norm tympanometrycznych (MEP PO ŚR- 16,4± 35,16 daPa, przyjęta norma od -100 do +100 daPa; COM PO ŚR- 0,96± 0,49 ml- przyjęta norma 0,3-1,6 ml).

Takich zmian i zależności statystycznych zmiennych tympanometrycznych nie zaobserwowano u osób grupy kontrolnej, bez doświadczenia nurkowego.

W celu dokładniejszego zbadania opisywanych powyżej różnic i stwierdzonych zależności statystycznych zmiennych tympanometrycznych w grupach badanych nurków i osób bez doświadczenia nurkowego, w kolejnym etapie badań wykonano analizę otrzymanych wyników pomiarów z uwzględnieniem podgrup wiekowych (co dekadę życia) i doświadczenia zawodowego (nurkowego) badanych. Przeprowadzona analiza porównawcza międzygrupowa dla tych samych przedziałów wiekowych oraz stażu pracy jako nurek, miała dać odpowiedź na pytanie czy wieloletnia ekspozycja nurków na działanie niskiego ciśnienia wpływa w sposób istotny na stan ucha środkowego.

Przeprowadzony w analizie statystycznej test Wilcoxona wykazał, że obserwowany wzrost podatności ucha środkowego po nurkowaniu (sprężaniu) (zmienna COM PO), występował już u młodych i średnio doświadczonych nurków (staż pracy do 5 lat- łącznie 67 nurków - 68% grupy badanej), w przedziale wiekowym: do III dekady życia (43 nurków -43% grupy badanej) i III- IV dekady życia (49 nurków -50% grupy badanej). Podobnych istotnych statystycznie zależności nie stwierdzono u starszych (przedział wiekowy: powyżej IV dekady życia) i bardzo doświadczonych nurków (staż pracy: powyżej 8 lat). Mogło to wynikać m.in. ze zbyt małej liczebności analizowanej grupy badanej, spełniające powyższe kryteria wieku i doświadczenia nurkowego. Po uwagę należy brać również fizjologiczne procesy starzenia się narządu słuchu i równowagi, które postępują już od czwartej dekady życia [108, 109] i w przebiegu których dochodzi m.in. do zwłóknienia i utraty elastyczności błony bębenkowej, zmniejszenia ruchomości w stawach kosteczek słuchowych [110]. Takie, postępujące z wiekiem ,,usztywnienie" układu przewodzącego dźwięki w uchu środkowym, manifestuje się najczęściej niedosłuchem przewodzeniowym, co w badaniu audiometrii impedancyjnej przekłada się na min. zmniejszenie podatności ucha środkowego. Należy przypuszczać, że to właśnie opisane powyżej procesy starzenia się narządu słuchu, mogą być główną przyczyną braku przewidywanego wzrostu podatności ucha środkowego u doświadczonych nurków, w wieku powyżej IV dekady życia.

Przeprowadzona równolegle analogiczna analiza w grupie kontrolnej, składającej się w przeważającej części z osób młodych (średnia wieku 25,7 lat) i nie nurkujących, nie wykazała istotnie statystycznie różnic w pomiarach podatności i ciśnienia ucha środkowego.

Można przypuszczać, że obserwowany w badaniach własnych, postępujący wraz z wiekiem i stażem pracy, wzrost podatności ucha środkowego u nurków, może być pośrednio wykładnikiem utrwalonych zmian strukturalnych powodujących dużą ruchomość (wiotkość) układu przewodzącego dźwięk. Nadmiernie ruchoma, cienka i wiotka błona bębenkowa może stwarzać, zwłaszcza u niedoświadczonych nurkujących, wysokie ryzyko perforacji i urazu ciśnieniowego ucha środkowego. Jak wcześniej wspomniano, ryzyko to jest szczególnie duże w przypadku współistniejącej dysfunkcji trąbek słuchowych i niemożności wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego.

Elner i wsp. [111] w 1971r. jako jedni z pierwszych publikują wyniki swojej pracy badawczej, która dotyczy destrukcyjnego oddziaływania niewyrównanego ciśnienia w uchu środkowym na struktury układu błony bębenkowej (błona bębenkowa wraz z kosteczkami słuchowymi, więzadłami i mięśniami ucha środkowego). W swoich badaniach opisują m.in. zwiększoną ruchomość i wiotkość błony bębenkowej występującej zwłaszcza u osób z dysfunkcją trąbki słuchowej. Według badaczy główną przyczyną tego stanu jest narastające „obciążenie ciśnieniowe" ucha środkowego, które dodatkowo potęgowane jest nieprawidłowym działaniem trąbek słuchowych i niemożnością prawidłowego wyrównania ciśnienia w przestrzeniach powietrznych ucha środkowego. Kilka lat później Ivarsson i wsp. [112] w swojej pracy przedstawiają wyniki z podobnych badań, przeprowadzonych tym razem w grupie nurków i osób nienurkujących. Badacze wskazują, że osoby nurkujące z zachowaną prawidłową barofunkcją trąbki słuchowej, w porównaniu do osób nienurkujących, mają zwiększoną ruchomość błony bębenkowej. Z kolei nurkowie u których wystąpiły problemy w wyrównywaniu ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego w wyniku dysfunkcji trąbek słuchowych w badaniach porównawczych statystycznie nie różnili się od osób nienurkujących. Brak istotnie statystycznej różnicy pomiędzy grupami osób nurkujących i nienurkujących z dysfunkcją trąbki słuchowej, autorzy powyższego opracowania tłumaczą powstaniem granicy rozciągnięcia elastycznych elementów systemu błony bębenkowej; co w konsekwencji oznacza, że przestrzenie ucha środkowego, podczas nurkowania przy istniejącej niedrożności trąbek słuchowych, zachowują się jak „zamknięte pudełko".

Passke i wsp. [113], wykorzystują jako jedni z pierwszych, metodę audiometrii impedancyjnej do rejestracji zmian ciśnienia w uchu środkowym i podatności błony bębenkowej u nurków. Badacze, podobnie jak to miało miejsce w badaniach własnych, odnotowują istotny statystycznie wzrost podatności ucha środkowego w grupie nurków. Jednak rejestrowane zmiany w zapisach krzywych tympanometrycznych były przejściowe i wracały do wartości początkowych oznaczeń, pomiędzy nurkowaniami. Wynikało to prawdopodobnie ze specyfiki grupy badawczej, którą tworzyło 21 niedoświadczonych nurków, uczestników wstępnego komercyjnego szkolenia nurkowego, którzy w odróżnieniu od nurków zawodowych, nie są narażeni na wieloletnie działanie niskiego ciśnienia na ucho środkowe. Autorzy ci sugerują, że obserwowane zmiany w badaniach tympanometrycznych są następstwem osłabienia kurczliwości włókien elastycznych błony bębenkowej, będący wynikiem ekspozycji na zmiany ciśnienia w uchu środkowym podczas nurkowania. Ten przejściowy wzrost podatności ucha środkowego i jego oddziaływanie na błonę bębenkowej może być pierwszą mierzalną zmianą elastyczności błony bębenkowej. Według autorów opracowania zmiany strukturalne błony bębenkowej mogą być nieodwracalne, jeżeli tak zmienione ucho środkowe będzie nadal poddawane ekspozycji hiperbarycznej.

Wydaje się wielce prawdobodobne, że opisane powyżej procesy, które mogą zachodzić w uchu środkowym u osób nurkujących, pośrednio mogą tłumaczyć uzyskane w badaniach własny wyniki wzrostu podatności ucha środkowego w grupie nurków zawodowych.

Pomiary audiometrii impedancyjnej z wyznaczeniem podatności i ciśnienia w uchu środkowym, wykorzystali również w swoich badaniach Öktem i wsp. [114]. Badacze przanalizowali w ten sposób zmiany elastyczności błony bębenkowej u 36 nurków w 123 nurkowaniach w zależności od głębokość nurkowań i doświadczenia nurkowego. Podobnie jak to miało miejsce w badaniach własnych, autorzy powyższego opracowania zaobserwowali w analizowanej grupie nurków istotny statystycznie wzrost podatności ucha środkowego ($p<0,001$), który występował już przy płytkich nurkowaniach i występował statystycznie częściej u starszych i bardziej doświadczonych nurków. Nie zaobserwowano natomiast różnic w pomiarach ciśnienia ucha środkowego.

Szkolenie nurkowe, w który uczestniczyli badani, odbywało się w warunkach pozorowanych- w komorze hiperbarycznej, oraz w warunkach rzeczywistych w wodzie. Dodatkowo uczestnicy badania podczas ćwiczeń stosowali różne czynniki oddechowe (powietrze, tlen i mieszaniny). Wobec tak zróżnicowanych dla grupy badawczej warunków

i technik nurkowania, postanowiono w dalszej części badań dokonać oceny statystycznej zależności wyników pomiarów tympanometrycznych od wyżej wymienionych czynników.
Dla potrzeb analizy porównawczej warunków prowadzenia szkolenia nurkowego, skorzystano z Testu Kruskala-Wllisa, w którym w obu grupach badawczych (nurkowie i osoby bez doświadczenia nurkowego) nie udało się uzyskać istotnej statystycznej różnicy dla każdej zmiennej tympanometrycznej mierzonej podczas zajęć prowadzonych w wodzie i w komorze hiperbarycznej. Uzyskane w zapisach tympanometrycznych wartości ciśnienia i podatności ucha środkowego (MEP i COM PRZED i PO), mierzone przed i po nurkowaniu, uzyskiwały porównawczo zbliżone statystyczne wartości bez względu na występujące warunki nurkowania. Podobnie jak to miało miejsce w wyżej opisanej analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych osobno dla każdej z grup, stwierdzono w grupie nurków biorących udział w szkoleniu w wodzie jak i w komorze hiperbarycznej, wyższe wartości podatności ucha środkowego (zmienna COM PO) po nurkowaniu (sprężaniu). W grupie kontrolnej, bez doświadczenia nurkowego nie obserwowano takich zależności, zarówno dla warunków szkolenia w wodzie jak i w komorze hiperbarycznej.
Podsumowując powyższe wnioski z przeprowadzonej analizy wyników pomiarów ciśnienia i podatności ucha środkowego wykonanych podczas szkoleń w warunkach symulowanych (komora hiperbaryczna) i rzeczywistych (woda), można stwierdzić, że prawidłowo przeprowadzone szkolenie w komorze hiperbarycznej (m.in. test ciśnieniowy) z wykonanymi pomiarami tympanometrycznymi, pozwala na przesiewową selekcję i identyfikację nurków i kandydatów na nurków zagrożonych urazem ciśnieniowym ucha środkowego, co może mieć zasadnicze znaczenie w zakresie kwalifikacji medycznej do pracy i działań pod wodą.
O takim zastosowaniu badania audiometrii impedancyjnej donoszą min. Shupak i wsp. [115], którzy w swoim opracowaniu opisują zmiany tympanometryczne jakie zarejestrowali u 42 amerykańskich kandydatów na nurków wojskowych podczas testowego sprężania w komorze hiperbarycznej. Rejestrację tympanometryczną przeprowadzano w obu uszach wewnątrz komory przy wartościach ciśnienia 1 ATA i 1,1 ATA- co ma symulować, wg rekomendacji amerykańskiego systemu szkolenia nurków, przebywanie pod wodą na głębokości 7,5 metra. W trakcie sprężania każdy z badanych wykonywał manewry wyrównujące ciśnienie w uchu środkowym. Krzywe tympanometryczne wykonane podczas badań opisywano wg. klasyfikacji Jergera jako typ A, B, C. Przy wartościach ciśnienia 1 ATA autorzy badania zanotowali prawidłowe wyniki

badań tympanometrii (krzywa typ A-prawidłowa podatność i ciśnienie) wśród wszystkich 42 kandydatów na nurków (przebadane 84 uszu). Po sprężeniu w komorze hiperbarycznej do ciśnienia 1,1 ATA u badanych zanotowano 19 (22,9%) tympanogramów typu C (krzywa przesunięta w kierunku ujemnych ciśnień) i 2 tympanogramy typu B (krzywa płaska-niskie lub nieoznaczalne ciśnienie i podatność). W badaniach własnych odsetek nieprawidłowych tympanogramów był niższy, ponieważ w grupie 92 osób (przebadane 184 uszu) sprężanych w komorze hiperbarycznej, odnotowano po opuszczeniu komory 10 (5%) tympanogramów typu C i 3 (2%) tympanogramy typu B. Wszyscy uczestnicy badania Shupaka i wsp. u których stwierdzono po sprężaniu w komorze hiperbarycznej, tympanogram typu C, po wykonaniu kilku prób przedmuchu, uzyskali wyrównanie ciśnienia w uchu środkowym potwierdzony prawidłowym zapisem tympanogramu- typ A. Takiej zależności autorzy opracowania nie obserwowali w grupie badanej z tympanogramem typu B, u których dodatkowo stwierdzono otologiczne objawy barotraumy ucha środkowego.

W badaniach własnych, zauważono również podobną zależność. Osoby ze stwierdzonym bezpośrednio po sprężaniu, tympanogramem typu C, po ok. 15-30 min. od zakończenia zajęć, zgłaszali uczucie ,,odetkania ucha" z następowym wyrównaniem ciśnienia w uchu środkowym i prawidłowym zapisem kontrolnego badania tympanometrycznego. Natomiast osoby, u których stwierdzono po sprężaniu płaskie tympanogramy typu B, do końca dnia szkoleniowego, zgłaszały uczucie ,,zatkania ucha" z towarzyszącym bólem podczas prób wykonania przedmuchu. Podobnie jak to miało miejsce w badaniach Shupaka, nie uzyskano u tych osób w badaniach kontrolnych, poprawy wyników (zmiany kształtu krzywej) pomiarów tympanometrycznych.

Shupak i wsp. w podsumowaniu opracowania wskazują na ważną rolę pomiarów tympanometrycznych w warunkach nurkowań pozorowanych, jako przesiewowych badań mających na celu identyfikację kandydatów na nurków z ryzykiem wystąpienia urazu ciśnieniowego ucha środkowego.

W przeprowadzonej w dalszej kolejności badań analizie porównawczej nie stwierdzono istotnie statystycznej zależności wyników pomiarów tymapnometrycznych od rodzaju stosowanego przez badanych podczas nurkowania (sprężania), czynnika oddechowego. Pomimo zastosowanych przez uczestników badania zróżnicowanej technologii nurkowania (z wykorzystaniem powietrza, tlenu i mieszanin oddechowych) otrzymane wyniki pomiarów ciśnienia (MEP) i podatności ucha środkowego (COM)

wykazywały, bez względu na rodzaj zastosowanego przez badanych czynnika oddechowego, porównywalne statystycznie wartości.

W dalszej części prowadzonych badań dokonano oceny problemów i dolegliwości klinicznych jakie zgłaszali badani w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) i czy przekładały się one na wyniki pomiarów tympanometrycznych wykonywanych z jednoczasową oceną wyglądu błony bębenkowej (otoskopią). Analiza powyższego problemu miała, przede wszystkim dać odpowiedź, na ewentualną wartość diagnostyczną audiometrii impedancyjnej wykonywaną przed i po nurkowaniu (sprężaniu).

W przeprowadzonym badaniu wśród osób zgłaszających problemy i dolegliwości w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu) odnotowano łącznie 27 nurków (27% grupy badanej) i 7 osób nie nurkujących (18% grupy kontrolnej).

Wśród dolegliwości, najczęściej zgłaszanym był problem prawidłowego wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego, występujący w większości przypadków, podczas zanurzania w wodzie lub sprężania w komorze hiperbarycznej. Te dolegliwości odnotowano u 15 nurków (88% nurków zgłaszających dolegliwości) i 7 osób bez doświadczenia nurkowego (100% osób nienurkujących zgłaszających dolegliwości). Wśród objawów towarzyszących utrudnionemu przedmuchowi, dominował ból ucha z narastającym uciskiem i zatkaniem ucha. U większości osób objawy te ustępowały po wykonaniu manewrów wyrównujących ciśnienie w przestrzeniach ucha środkowego.

W/w objawom, w większości przypadków towarzyszyły zmiany otoskopowe wyglądu błony bębenkowej, które obserwowano po nurkowaniu (sprężaniu) i opisywano wg klasyfikacji Teeds'a. W grupie 27 nurków z dolegliwościami podczas nurkowania (sprężania), u 25 osób (93% nurków zgłaszających dolegliwości) stwierdzono zmiany otoskopowe wyglądu błony bębenkowej odpowiadające 1 stopniowi wg Teeds'a (T1-retrakcja z przekrwieniem rękojeści młoteczka) i u 2 osób (7%) zmiany charakterystyczne dla stopnia 2 (T2-retrakcja z przekrwieniem całej błony bębenkowej). Analogicznie w grupie kontrolnej, czyli osób nie nurkujących, u 2 osób (28% osób nienurkujących zgłaszających dolegliwości) zaobserwowano zmiany otoskopowe błony bębenkowej odpowiadające T1, 4 przypadki (58%) oceniono na T2 i jeden przypadek (14%) na T3 (płyn lub krew w jamie bębenkowej). Co ciekawe, u 13 osób biorących udział w badaniu, które nie zgłaszały żadnych dolegliwości, również zaobserwowano zmiany w wyglądzie błony bębenkowej, w większości charakterystyczne dla T1.

Obserwowane bezpośrednio po nurkowaniu (sprężaniu) zmiany otoskopowe o nasileniu T1, u większości badanych ustępowały i nie dawały żadnych dolegliwości.

Natomiast w przypadku 7 osób (2 nurkowie i 5 osób bez doświadczenia nurkowego) u których stwierdzono bardziej nasilone zmiany otoskopowe błony bębenkowej (typu T2 i T3), wystąpiło uczucie dłuższego „zatkania" ucha, które u 4 osób ustąpiło po wykonaniu kilku prób przedmuchu i wyrównaniu ciśnienia w uchu środkowym w okresie 15-30 min. po zakończonym szkoleniu. Jak wcześniej wspomniano, pozostałe 3 osoby bez doświadczenia nurkowego, do końca dnia szkoleniowego, zgłaszały uczucie „zatkania ucha" połączone z brakiem możliwości prawidłowego wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego.

Żadna z osób uczestniczących w badaniu nie wymagała pilnej pomocy lekarskiej. Tylko 4 osoby, bez doświadczenia nurkowego, z powodu narastającego podczas sprężania w komorze hiperbarycznej, silnego bólu uszu i utrudnionego przedmuchu, musiały przerwać swój udział w szkoleniu. Co ciekawe, w badaniu laryngologicznym opisywanej grupy osób nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości. Wysoce prawdopodobne jest to, że w tej grupie badanych, czyli młodych i niedoświadczonych nurkowo osób, mógł zadziałać czynnik psychologiczny (m.in. stres, strach), który spowodował reakcję „obronną" badanych w postaci demonstrowania tak nasilonych subiektywnych dolegliwości.

Zgłaszane przez uczestników badania problemy i dolegliwości, którym towarzyszyły wyżej opisane zmiany w wyglądzie błony bębenkowej, miały swoje odzwierciedlenie w wynikach pomiarów tympanometrycznych. W badaniach własnych, w analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych stwierdzono w grupie nurków zgłaszających problemy i dolegliwości podczas szkolenia, wzrost ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP PO- graficznie: krzywa tympanometryczna przesunięta w prawo) po nurkowaniu (sprężaniu). Dodatkowo wartości średnie pomiarów ciśnienia w uchu środkowym wykonane po nurkowaniu (sprężaniu) były istotnie statystycznie wyższe u nurków zgłaszających dolegliwości, w porównaniu do wyników pomiarów w grupie nurków bez dolegliwości. Podobnych zależności zmiennej MEP nie obserwowano w grupie osób nie nurkujących, chociaż przeprowadzona analiza korelacji wskazywała na istotnie statystyczną zależność (średnia wartość R=0,18) zgłaszanych dolegliwości w zależności od rejestrowanego wzrostu poziomu ciśnienia w uchu środkowym. Być może wynikało to ze zbyt małej liczebności analizowanej grupy kontrolnej- tylko 7 osób bez doświadczenia nurkowego zgłaszało dolegliwości podczas sprężania w komorze hiperbarycznej.

Analiza wyników podatności ucha środkowego (zmienna COM) zarówno u nurków jak i osób bez doświadczenia nurkowego, nie wykazała istotnego związku z dolegliwościami zgłaszanymi przez badanych po nurkowaniu (sprężaniu).

Dolegliwości, które zgłaszali uczestnicy badania w trakcie i po nurkowaniu (sprężaniu), mogą być prawdopodobnie spowodowane odziaływaniem zmieniającego się ciśnienia na struktury ucha środkowego, w tym min. na błonę bębenkową. Podczas zanurzania (sprężania) w przypadku niedrożności trąbki słuchowej następuje, wraz ze wzrostem głębokości, spadek ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego, a błona bębenkowa ulega wciągnięciu w kierunku jamy bębenkowej. Z kolei w trakcie wynurzania (rozprężania) przy niedrożnej trąbce słuchowej, błona bębenkowa uwypukla się w kierunku zmniejszającego się ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Dodatkowo, uwypuklenie i napięcie błony bębenkowej w kierunku przewodu słuchowego, mogą potęgować wykonywane przez nurków forsowane próby tzw. „przedmuchu", konsekwencją czego jest, dostanie się do ucha środkowego kolejnych mas powietrza i podniesienie, już i tak wysokiego ciśnienia w jamie bębenkowej. W sytuacjach krytycznych zmian ciśnienia w uchu środkowym może dojść do rozerwania błony bębenkowej z następową barotraumą ucha środkowego.

Opisany mechanizm powstawania zmian i oddziaływania ciśnienia na ucho środkowe i błonę bębenkową, może pośrednio tłumaczyć zarejestrowany w badaniach własnych wzrost ciśnienia w uchu środkowym (MEP PO) w grupie nurków zgłaszających problemy i dolegliwości w trakcie i po szkoleniu.

Zmiany ciśnienia w uchu środkowym z narastającą dysfunkcją trąbki słuchowej u nurków w warunkach rzeczywistego nurkowania były szeroko opisywane przez m.in. Greena i wsp. [116]. Badacze przeprowadzili kilkudniowe pomiary tympanometryczne z jednoczasową oceną otoskopową doświadczonych nurków rekreacyjnych, wykonujących kilka nurkowań w ciągu tego samego dnia. W swoim pilotażowym badaniu naukowcy, podobnie jak to miało miejsce w badaniach własnych, zaobserwowali w tympanometrii zmiany ciśnienia w uchu środkowym (obserwowano zarówno wzrost i spadek MEP), które narastały proporcjonalnie do zgłaszanych przez nurków objawów związanych z dysfunkcją trąbki słuchowej. Rejestrowane zmiany w badaniu tympanometrycznym i zgłaszane przez nurków dolegliwości m.in. ból ucha, były zależne od częstotliwości wykonywanych nurkowań i ustępowały przy zachowaniu wydłużonych przerw pomiędzy nurkowaniami. Pomimo obserwowanych u badanych zmian otoskopowych wyglądu błony bębenkowej, zarejestrowane pomiary podatności ucha środkowego (zmienna COM), podobnie jak

w badaniach własnych, były w granicach normy. Autorzy tej publikacji wskazują na ważną rolę badania audiometrii impedancyjnej w diagnostyce narastającej dysfunkcji trąbki słuchowej u nurków podczas intensywnych ćwiczeń i zajęć pod wodą.

Do podobnych wniosków doszli w swoich badaniach Ramos i wsp. [117], którzy obserwowali porównywalna grupę, tym razem 19 doświadczonych nurków rekreacyjnych podczas powtarzalnych nurkowań. Badana grupa nurków, podobnie jak w przedstawionej wcześniej publikacji, miała wykonywane przed i po nurkowaniach badanie otoskopowe i tympanometrię. Wyniki prowadzonych badań wg. autorów opracowania sugerowały, że wielokrotne nurkowania w krótkim okresie czasu powodują uszkodzenie struktur ucha środkowego, czego potwierdzeniem były nieprawidłowe wyniki badań tympanometrycznych i oceny otoskopowej błony bębenkowej (stopień 1-4 wg skali Teedsa). Obserwowane zmiany zachodzące w uchu środkowym były następstwem narastających, proporcjonalnie do intensywności nurkowania, zmian ciśnienia w uchu środkowym i jego oddziaływaniem na błonę bębenkową. Powyższych zależności nie obserwowano przy zachowaniu wydłużonych przerw pomiędzy nurkowaniami, do min. 11h. W podsumowaniu autorzy publikacji sugerują również, że zachowanie odpowiednio długich przerw na powierzchni pomiędzy nurkowaniami, może zapewnić ochronę ucha środkowego przed urazem ciśnieniowym ucha środkowego, a badanie tympanometryczne przeprowadzone z oceną otoskopową jest ważnym narzędziem diagnostycznym w ocenie ryzyka wystąpienia tego typu urazu.

W końcowym etapie badań dokonano oceny grup badawczych pod kątem występowania chorób i dolegliwości o podłożu laryngologicznym. Analiza porównawcza tego zagadnienia, miała mi dać w dużym przybliżeniu odpowiedź na pytanie, jakie są i jak często występują schorzenia laryngologiczne u nurków i czy mają one wpływ na uzyskane wyniki pomiarów tympanometrycznych. Na podstawie przeprowadzonego wywiadu lekarskiego udało się ustalić, że 40 nurków (40% grupy badanej) i 10 osób nie nurkujących (26% grupy kontrolnej) było w przeszłości leczonych lub są obecnie pod kontrolą lekarza laryngologa. Wśród podawanych przez badanych dolegliwości o podłożu laryngologicznym dominowały schorzenia wymagające w przeszłości leczenia operacyjnego m.in. zatok obocznych nosa, skrzywienia przegrody nosa, złamania kości nosa, przerostu małżowin nosowych, przewlekłego zapalenie migdałków podniebiennych. W grupie nurków odnotowano 25 (25%) osób, a w grupie bez doświadczenia nurkowego- 6 (16%) osób, które w przeszłości miały wykonane operacje laryngologiczne. Wśród innych problemów laryngologicznych, 8 (8%) nurków i 4 (10%) osoby bez

doświadczenia nurkowego, zgłaszało nawracające stany zapalne błony śluzowej nosa i zatok, najczęściej o podłożu alergologicznym. Dodatkowo 4 nurków podawało udokumentowane uszkodzenie słuchu (uraz akustyczny w wywiadzie-1 nurek, oraz niedosłuch odbiorczy stopnia lekkiego- 3 nurków), oraz 3 nurków przyznało się do przebytego w przeszłości urazu ciśnieniowego ucha i zatok.

Opisany powyżej procentowy i ilościowy rozkład schorzeń i dolegliwości laryngologicznych w grupach badanych, wskazuje na to, że analizowana grupa nurków była znacznie bardziej obciążona wywiadem laryngologicznym, w porównaniu do grupy osób nie nurkujących. Dodatkowo w badaniach własnych, w analizie porównawczej wyników pomiarów tympanometrycznych dla grup badanych, stwierdzono wzrost ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP PO) po nurkowaniu (sprężaniu) u nurków z obciążonym laryngologicznie wywiadem lekarskim. Analiza statystyczna wyników podatności ucha środkowego (zmienna COM) zarówno u nurków jak i osób bez doświadczenia nurkowego nie wykazała istotnego związku z wcześniejszym leczeniem laryngologicznym badanych.

Wydaje się, że główną przyczyną zaobserwowanego wzrostu ciśnienia w uchu środkowym w grupie nurków leczonych w przeszłości laryngologicznie, może być już wcześniej opisywana, narastająca dysfunkcji trąbki słuchowej. Otrzymane wyniki badań mogą w dużym uproszczeniu sugerować, że doświadczeni nurkowie z przebytymi lub leczonymi chorobami o podłożu laryngologicznym, są bardziej predysponowani i narażeni na zaburzenia fizjologicznych mechanizmów wyrównania ciśnienia w przestrzeniach ucha środkowego podczas nurkowania, co z kolei może powodować wzrost ryzyka urazu ciśnieniowego ucha. Powyższe wnioski mogą wskazywać na ważną rolę jaką może odegrać w prewencji urazu ciśnieniowego u nurków, szczegółowo przeprowadzony wywiad lekarski, ukierunkowany na schorzenia o podłożu laryngologicznym, leczone zarówno operacyjnie jak i zachowawczo.

Podobne wnioski wysunęli w podsumowaniu swoich badań Koriwchak M. i wsp. [118], w których to szeroko przeanalizowali w grupie 103 nurków czynniki ryzyka barotraumy ucha środkowego. Obserwacje autorów powyższej publikacji wskazują, że stwierdzony w grupie badanych nurków wzrost ciśnienia w uchu środkowym, połączony z narastającym bólem ucha oraz utrudnionym przedmuchem podczas zanurzania (takie dolegliwości zgłaszało 58% badanych nurków), jest główny objawem i wysokim czynnikiem ryzyka wystąpienia urazu ciśnieniowego ucha środkowego. Badacze podkreślają również, że na zwiększone ryzyko urazu ciśnieniowego ucha

środkowego u nurków mogą wpływać przede wszystkim urazy ciśnieniowe doznane w przeszłości, stany zapalne ucha, zatok, alergia, stosowanie leków oraz leczenie laryngologiczne w przeszłości. Problemy zdrowotne stwarzające u nurków ryzyko barotraumy, powinny być wg autorów opracowania, uwzględniane w wywiadzie lekarskim przeprowadzanym przed kwalifikacją do nurkowania, a także w trakcie leczenia po urazie ciśnieniowym.

W innym opracowaniu, Roydhouse i wsp. [28] w przeprowadzonej analizie schorzeń laryngologicznych u 650 nurków, wskazują na ważną rolę prawidłowej drożności nosa w zapobieganiu urazu ciśnieniowego ucha środkowego i zatok. Autorzy tego opracowania w podsumowaniu swoich badań również wskazują na ważną rolę, jaką odgrywa w prewencji urazu ciśnieniowego u nurków, odpowiednio przeprowadzony i ukierunkowany wywiad lekarski oraz prawidłowe leczenie zachowawcze i operacyjne, już rozpoznanych chorób laryngologicznych regionu nosa i zatok t.j. naczynioruchowych i alergicznych stanów zapalnych błony śluzowej nosa, przerostu małżowin nosowych i skrzywienia przegrody nosa.

VII. WNIOSKI

1. W grupie nurków stwierdzono wyższą podatność ucha środkowego (zmienna COM) po nurkowaniu (sprężaniu) w porównaniu do osób bez doświadczenia nurkowego. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic w wartościach ciśnienia ucha środkowego (zmienna MEP) pomiędzy grupami badawczymi.
2. Wartości średnie ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP) i podatności ucha środkowego (zmienna COM) po nurkowaniu (sprężaniu), były w grupie nurków zauważalnie wyższe niż przed ekspozycją hiperbaryczną, czego nie zaobserwowano u osób bez doświadczenia nurkowego.

   Obserwowany wzrost podatności ucha środkowego (zmienna COM) po nurkowaniu (sprężaniu) występował już u młodych i średnio doświadczonych nurków (staż pracy do 5 lat) w przedziale wiekowym do III i III-IV dekady życia. Analiza statystyczna wyników badań nie wykazała zależności poziomu mierzonego ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP) u nurków od wieku i doświadczenia zawodowego (nurkowego) badanych.
3. Warunki prowadzonego szkolenia oraz zastosowana technologia nurkowania z wykorzystaniem różnych czynników oddechowych, nie wpłynęły w sposób istotny statystycznie na porównawcze wyniki pomiarów tympanometrycznych.
4. W grupie nurków zgłaszających problemy i dolegliwości podczas szkolenia w zapisach tympanometrycznych zaobserwowano wzrost ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP PO) po nurkowaniu (sprężaniu), natomiast pomiary podatności ucha środkowego (zmienna COM) zarówno u nurków i osób bez doświadczenia nurkowego nie wykazały istotnego statystycznie związku z dolegliwościami i problemami zgłaszanymi przez badanych.
5. Wzrost ciśnienia w uchu środkowym (zmienna MEP PO) po nurkowaniu (sprężaniu) występował istotnie statystycznie częściej u nurków z obciążonym schorzeniami laryngologicznymi wywiadem lekarskim.

Spis rycin

Ryc.1.1. Projekt aparatu nurkowego autorstwa G. Borelliego ……....
Ryc.1.2. Zamknięty hełm nurkowy konstrukcji Siebego…….
Ryc.1.3. ,,Aerophore" Rouquayrola i Denayrouse……...
Ryc.1.4. Zestaw nurkowy opatentowany przez Cousteau i Gagnana w 1949r…….....
Ryc.1.5. Zarys prawego ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego w przekroju……
Ryc.1.6. Mechanizm działania trąbki słuchowej wg Zöllnera……..…..
Ryc. 1.7. Powstanie urazu ciśnieniowego ucha i przetoki perlimfatycznej w mechanizmie implozji ……
Ryc. 1.8. Powstanie urazu ciśnieniowego ucha i przetoki perlimfatycznej w mechanizmie eksplozji ……
Ryc. 1.9. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy niedrożnej trąbce słuchowej……..
Ryc. 1.10. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy niedrożnym przewodzie słuchowym zewnętrznym……..
Ryc. 1.11. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas zanurzania przy jednocześnie niedrożnej trąbce słuchowej i przewodzie słuchowym zewnętrznym……..
Ryc. 1.12. Mechanizm powstania urazu ciśnieniowego ucha podczas wynurzania przy niedrożnej trąbce słuchowej……..
Ryc. 1.13. Obraz prawidłowej błony bębenkowej prawej w badaniu otoskopowym ucha…..
Ryc. 1.14. Madsen ZO 60- pierwszy na świecie, powszechnie dostępny tympanometr……..
Ryc. 1.15. Schemat budowy głowicy sondy tympanometru……
Ryc. 1.16. Krzywa tympanometryczna……
Ryc. 1.17. Klasyfikacja tympanogramów wg Jergera……..
Ryc. 1.18. Tympanogram typ C- dysfunkcja (niedrożność, nieżyt) trąbki słuchowej…….
Ryc. 1.19. Test Williams dla ucha środkowego z prawidłową drożnością trąbki słuchowej..
Ryc. 3.1. Komora hiperbaryczna Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków (OSNiP) Wojska Polskiego w Gdyni……...
Ryc. 3.2. Basen szkoleniowy i do prac podwodnych OSNiP WP w Gdyni…….
Ryc.3.3. Doświadczalny Głębokowodny Kompleks Nurkowy (DGKN-120) Katedry Technologii Prac Podwodnych AMW w Gdyni……

Ryc. 4.1. Otoskop KaWe Piccolight i ocena otoskopowa ucha uczestnika badania……
Ryc. 4.2. Prawidłowa błona bębenkowa z podziałem na kwadranty……...
Ryc. 4.3. Tympanometr Oscilla TSM-300 i przebieg pomiarów tympanometrycznych wykonywanych u uczestnika badania……
Ryc. 5.1. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L (podatność ucha środkowego Lewego Przed nurkowaniem) względem grup B i K…….....
Ryc. 5.2. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PO L (podatność ucha środkowego Lewego Po nurkowaniu) względem grup B i K……
Ryc. 5.3. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PO ŚR (uśredniona podatność ucha środkowego Po nurkowaniu) względem grup K i B……...
Ryc. 5.4. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B……...
Ryc. 5.5. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P I PO P (podatność ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B……..
Ryc. 5.6. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L I PO L (podatność ucha środkowego Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B……..
Ryc. 5.7. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED ŚR I PO ŚR (uśrednione ciśnienie ucha środkowego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B……
Ryc. 5.8. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED ŚR I PO ŚR (uśredniona podatność ucha środkowego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B……
Ryc. 5.9. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POCZ……...
Ryc. 5.10. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego

i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ŚRDOŚ…….
Ryc. 5.11. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ŚRDOŚ……
Ryc. 5.12. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-III……..
Ryc. 5.13. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-III-IV…….
Ryc. 5.14. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-H_2O…….……..
Ryc. 5.15. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-KOM…….
Ryc. 5.16. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POW……
Ryc. 5.17. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-POW…….
Ryc. 5.18. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-O_2……
Ryc. 5.19. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED L I PO L (podatność ucha środkowego Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-O_2……
Ryc. 5.20. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P I PO P (podatność ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-MIESZ……

Ryc. 5.21. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-DOL+……..

Ryc. 5.22. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Po nurkowaniu) względem grup B-DOL- i B-DOL+…….

Ryc. 5.23. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PRZED P I PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL+……

Ryc. 5.24. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL+……

Ryc. 5.25. Wykresy ramkowe wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej COM PRZED P,L I PO P,L (podatność ucha środkowego Prawego i Lewego Przed i Po nurkowaniu) dla grupy B-ORL-…….

Ryc. 5.26. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO P (ciśnienie ucha środkowego Prawego Po nurkowaniu) względem grup B-ORL- i B-ORL+…….

Ryc. 5.27. Wykres ramkowy wartości średnich, odchyleń standardowych oraz zakresów zmiennej MEP PO L (ciśnienie ucha środkowego Lewego Po nurkowaniu) względem grup B-ORL- i B-ORL+…….

Spis tabel

Tab. 1.1. Klasyfikacje stosowane w ocenie otoskopowej stopnia natężenia zmian w uchu środkowym po urazie ciśnieniowym…….

Tab. 5.1. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób z doświadczeniem nurkowym- grupa badana (B)……

Tab. 5.2. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób bez doświadczenia nurkowego- grupa kontrolna (K)…….....

Tab. 5.3. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla zmiennych tympanometrycznych w grupie badanej (B)- nurkowie i kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego…

Tab. 5.4. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób z doświadczeniem nurkowym--grupa badana (B)……

Tab. 5.5. Wartości średnie, mediana, maksimum, minimum i odchylenia standardowe uśrednionych wyników pomiarów tympanometrycznych PRZED i PO nurkowaniu (sprężaniu) u osób bez doświadczenia nurkowego--grupa kontrolna (K)……

Tab. 5.6. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych w grupie badanej (B)- nurkowie i kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego……

Tab. 5.7. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B)- nurkowie……

Tab. 5.8. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego……...

Tab. 5.9. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B)--nurkowie…….

Tab. 5.10. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla uśrednionych zmiennych tympanometrycznych przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K)- osoby bez doświadczenia nurkowego……..
Tab. 5.11. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący…….
Tab. 5.12. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący……
Tab. 5.13. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący…….
Tab. 5.14. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POCZ)- nurkowie początkujący……
Tab. 5.15. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni…….
Tab. 5.16. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni……...
Tab. 5.17. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni…….
Tab. 5.18. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ŚRDOŚ)- nurkowie średnio doświadczeni……...
Tab. 5.19. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOŚ)- nurkowie doświadczeni….
Tab. 5.20. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-BDOŚ)- nurkowie bardzo doświadczeni……
Tab. 5.21. Liczba uczestników badania i skład procentowy poszczególnych grup wiekowych w grupie badanej (B- nurkowie) i kontrolnej (K-osoby bez doświadczenia nurkowego)……..
Tab. 5.22. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia……
Tab. 5.23. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia……

Tab. 5.24. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III)- nurkowie w grupie wiekowej do III dekady życia…….

Tab. 5.25. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)- nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia……..

Tab. 5.26. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)- nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia…….

Tab. 5.27. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-III-IV)- nurkowie w grupie wiekowej przedziału III i IV dekady życia……..

Tab. 5.28. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-IV)- nurkowie powyżej IV dekady życia…….

Tab. 5.29. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP i COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-III)- osoby bez doświadczenia nurkowego w grupie wiekowej do III dekady życia……

Tab. 5.30. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP, COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-III-IV)- osoby bez doświadczenia nurkowego w grupie wiekowej należącej do przedziału III i IV dekady życia……

Tab. 5.31. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O)…….

Tab. 5.32. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej w wodzie (B-H_2O)…….

Tab. 5.33. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej (sprężanej) w komorze (B-KOM)…….

Tab. 5.34. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu w grupie badanej nurkującej (sprężanej) w komorze (B-KOM)……..

Tab. 5.35. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze…….

Tab. 5.36. Wartości średnie dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze……

Tab. 5.37. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze…….

Tab. 5.38. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-POW)- -nurkowie stosujący czynnik oddechowy- powietrze…….

Tab. 5.39. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen……...

Tab. 5.40. Wartości średnie dla MEP P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen……..

Tab. 5.41. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- -tlen……..

Tab. 5.42. Wartości średnie dla COM L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-O_2)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- tlen……..

Tab. 5.43. Wartości średnie dla COM P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-MIESZ)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- mieszanina……...

Tab. 5.44. Wartości średnie dla COM P przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-MIESZ)- nurkowie stosujący czynnik oddechowy- mieszanina……...

Tab. 5.45. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+)- nurkowie zgłaszający dolegliwości…..

Tab. 5.46. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+)- nurkowie zgłaszający dolegliwości…….

Tab. 5.47. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL-)- nurkowie bez dolegliwości……

Tab. 5.48. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-DOL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego zgłaszające dolegliwości……...

Tab. 5.49. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-DOL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego bez dolegliwości……...

Tab. 5.50. Wartości średnie dla MEP P po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-DOL+ i DOL-)- nurkowie zgłaszający i nie zgłaszający dolegliwości……...

Tab. 5.51. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- nurkowie obciążeni laryngologicznie...

Tab. 5.52. Wartości średnie dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- -nurkowie obciążeni laryngologicznie……..

Tab. 5.53. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)- nurkowie nie obciążeni laryngologicznie……...

Tab. 5.54. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego obciążeni laryngologicznie……...

Tab. 5.55. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla MEP P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego nie obciążeni laryngologicznie……

Tab. 5.56. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- nurkowie obciążeni laryngologicznie...

Tab. 5.57. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+)- -nurkowie obciążeni laryngologicznie……

Tab. 5.58. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)- nurkowie nie obciążeni laryngologicznie……...

Tab. 5.59. Wartości średnie dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL-)- nurkowie nie obciążeni laryngologicznie……

Tab. 5.60. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL+)- osoby bez doświadczenia nurkowego obciążeni laryngologicznie……...

Tab. 5.61. Wyniki testu kolejności par Wilcoxona dla COM P i L przed i po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie kontrolnej (K-ORL-)- osoby bez doświadczenia nurkowego nie obciążeni laryngologicznie……

Tab. 5.62. Wartości średnie dla MEP P po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+ i ORL-)- nurkowie obciążeni i nie obciążeni laryngologicznie……...

Tab. 5.63. Wartości średnie dla MEP L po nurkowaniu (sprężaniu) w grupie badanej (B-ORL+ i ORL-)- nurkowie obciążeni i nie obciążeni laryngologicznie……

Załączniki

Załącznik nr 3.1: Plan nurkowania- Trening ciśnieniowy nurków głębokowodnych w dniu 08.02.2018 r.

PLAN NURKOWANIA
TRENING CIŚNIENIOWY NURKÓW GŁĘBOKOWODNYCH
Załącznik nr 3.1
w dniu...08.02.2018

Plan nurkowania trimiks 18,5 %O_2; 52m/14 min…

Maksymalna szybkość opuszczania	10 $[mH_2O\ min^{-1}]$	Szybkość dojścia do I stacji dekompresyjnej według tabeli.	
WYBÓR PROFILU DEKOMPRESJI TABELE TRIMIKSOWE		Głębokość $[mH_2O]$	55
		Czas $[min]$	20

Czas / szybkość zanurzania	Głębokość	Czas postoju na stacjach				Planowany czas nurkowani	Czas operacyjny	Uwagi
		Trimiks	Powietrze	Tlen				
[min/ m min^{-1}]	[mH_2O]	[min]	[min]	[min]		[min]		
07:00	**52**	7			p	**07:00**		Szybkość wynurzania do I stacji dekompresyjnej wynosi = 7 $mH_2O\ min^{-1}$
					o	**14:00**		
	39				p	4 min		
			4 min		o			NURKOWIE ŚCIĄGAJĄ HEŁMY i ODDYCHAJA Z PRZESTRZEŃ KOMORY
					p			
	30				o			
					p			
	27				o			
	24		**3**		p	**18:00**		**1min—45 m**
					o			**2min-38 m**
	21		**4**		p			**3min-31 m**
					o			**4min-24 m**
	18		**8**		p			
					o			
	15		**9**		p			Po każdych 30 min oddychania tlenem , 5 minut przerwy na oddychanie powietrzem
					o			
	12			**9**	p			
					o			
	9			**12**	p			
					o			
	6			**19**	p			
					o			
	3			**33**	p			
					o			
00:00	POWIERZCHNIA				p	**127:00**		

Załącznik nr 3.2: Plan nurkowania dla nurka roboczego- Nurkowanie powtórzeniowe w dniu 06.11.2018 r.

PLAN NURKOWANIA DLA NURKA ROBOCZEGO- NURKOWANIE POWTÓRZENIOWE 1

Nazwisko i imię ..... **w dniu 06.11.2018** Załącznik nr 3.2

Plan nurkowania nitroks 40,00 %0_2; 42 m/30 min…

Zawartość minimalna tlenu na dnie **31,3%**	Zawartość mini. tlenu podczas dekom tlen **85%**
	Szybkość przejścia pomiędzy stacjami dekom **3m/1min**
WYBÓR PROFILU DEKOMPRESJI	**Głębokość [mH_2O]** **42**
	Czas [min] **30**

Czas / szybkość zanurzania	Głębokość	Czas postoju na stacjach			Planowany czas nurkowani		Czas operacyjny	Uwagi
		Nitroks	Powietrze	Tlen				
[min/ m min^{-1}]	[mH_2O]	[min]	[min]	[min]	[min]			
04:00	**42**	**26**			p	**04:00**		Szybkość wynurzania do I stacji dekompresyjnej wynosi = 6,75 mH_2O min^{-1}
					29	**płukanie**		30 s- 38, 62 m 1min— 35,25 m 1,30 min-31, 87 m 2min—28,50 m 2,30 – 25, 12 m 3min—21,75 m 3,30 – 18, 375 m 4min-15 m
					o	**30:00**		
					p	4min		
					o			
					p			
					o			
	30				p			
					o			
	27		**4 min**		p			
					o			
	24				p			
					o			
	21				p			
					o			
	18				p			
					o			
	15	**1**			p	**34:00**		Po minięciu 20 mH_2O należy otworzyć butlę tlenową oraz sprawdzić wskazania manometru tlenowego. Dźwignię przełącznika rodzaju zasilania należy wyciągnąć po osiągnięciu 15 mH_2O. Po wykonaniu tych czynności należy rozpocząć płukania przestrzeni oddechowej aparatu tlenem. Procedura płukania przestrzeni oddechowej aparatu tlenem polega na wykonaniu 3 wdechów z przestrzeni oddechowej aparatu i wydechów nosem na zewnątrz do wody. Następnie nurek wykonuje 3 wdechy i wydechy ustami do przestrzeń oddechowej aparatu. Czynność tą, należy wykonać 4 razy.
					o	**35:00**		
	12			**1**		**36:00**		
						36:00		
	9			**2**	p	**37:00**		
					o	**38:00**		
	6			**3**	p	**39:00**		
					o	**41:00**		
	3			**8**	p	**42:00**		
					o	**49:00**		
00:00	POWIERZCHNIA				p	**50:00**		

1. 3 minuty oddychania z aparatu czynnikiem roboczym przed zanurzeniem-na powierzchni
2. 3 wydechy od momentu rozpoczęcia sprężania
3. Po przekroczeniu 10 metrów 3 wydechy na zewnątrz aparatu
4. W 15 minucie nurkowania - Sprężenie nurka zab.2 do głębokości 42 metrów
5. W 19-20 minucie wymiana nurków zabezpieczających

Załącznik nr 3.3: Plan nurkowania w dniu 25.04.2019 r.

PLAN NURKOWANIA . Załącznik nr 3.3

w dniu 25.04.2019

Plan nurkowania .....powietrze ; 50m/20 min…

Maksymalna szybkość opuszczania	10 $[mH_2O\ min^{-1}]$	Szybkość dojścia do I stacji dekompresyjnej według tabeli.
WYBÓR PROFILU DEKOMPRESJI		Głębokość $[mH_2O]$ 51
		Czas $[min]$ 20

Czas / szybkość zanurzania	Głębokość	Czas postoju na stacjach				Planowany czas nurkowani		Czas operacyjny	Uwagi
		Nitroks	Powietrze	Tlen					
[min/ m min^{-1}]	[mH_2O]	[min]	[min]	[min]		[min]			
05:00	51		14		p	05:00			Szybkość wynurzania do I stacji dekompresyjnej wynosi = 6,33 mH_2O min^{-1}
					o	20:00			
					p	6min			1min— 43,67 m 2min—37,34 m 3min—31,01m 4min-24,68 m 5min-18,35 m 6 min – 12,02 m
					o				
					p				
					o				
	30				p				
					o				
	27		6 min		p				
					o				
	24				p				
					o				
	21				p				
					o				
	18				p				
					o				
	15				p				
					o				
	12		6	3	p	26:00			
					o	29:00			
	9		8	4	p	30:00			
					o	33:00			
	6		12	6	p	34:00			
					o	39:00			
	3		18	9	p	40:00			
					o	48:00			
00:00	POWIERZCHNIA				p	51:00			

Uwagi

Załącznik nr 4.1: Formularz „Informacja o badaniu dla pacjenta”.

Załącznik nr 4.1

INFORMACJA O BADANIU DLA PACJENTA

Temat badań: **„ Badania wpływu ekspozycji hiperbarycznej na stan ucha środkowego mierzonej za pomocą audiometrii impedancyjnej w nurkowaniach służbowych w zależności od technologii i warunków nurkowania”**

Celem badania jest ocena jest ocena wpływu ekspozycji hiperbarycznej podczas wykonywanych nurkowań na fizjologiczny i anatomiczny stan błony bębenkowej i ucha środkowego w zależności od technologii nurkowania, wykonywana w warunkach rzeczywistych nurkowań szkoleniowych i treningowych.

Ocena opiera się na wykonywaniu przed i po nurkowaniach pomiarów podatności podatność błony bębenkowej na zmiany ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym za pomocą audiometrii impedancyjnej tzw. tympanometrii.

Badanie jest bezbolesne, trwa kilka minut i przeprowadzane jest w pozycji siedzącej. Po ocenie otoskopowej ucha (ocena stanu ucha zewnętrznego, środkowego i błony bębenkowej za pomocą wziernika usznego tzw. otoskopu) wprowadza się do kanału słuchowego zewnętrznego sondę pomiarową z gumową zatyczką uszczelniającą, która pozwala zmienić ciśnienie w zakresie od -400 do + 400 mm słupa wody. Zmiany ciśnienia powodują wychylenia błony bębenkowej, które są rejestrowane przez tympanometr, a następnie obrazowane w postaci wykresów (tzw. krzywych tympanometrycznych).

Nieprawidłowe zapisy krzywych tympanometrycznych pozwalają na identyfikację nurków z podejrzeniem schorzeń ucha środkowego (np. wysiękowe zapalenie ucha środkowego, przewlekła niedrożność trąbki słuchowej, otoskleroza, perforacja błony bębenkowej itp.). Badanie to umożliwia także ocenę ucha wewnętrznego, wykorzystując odruch z mięśnia strzemiączkowego na podawany bodziec akustyczny i zjawisko wyrównania głośności w tzw. niedosłuchu ślimakowym.

Wszystkie informacje i wyniki badań zostaną zgromadzone bez podania Pani/Pana danych osobowych (imię, nazwisko, data urodzenia). Jedynie zespół badaczy będzie miał dostęp do danych osobowych w czasie zbierania danych. Główny badacz udzieli Pani/Panu niezbędnych dodatkowych informacji w razie potrzeby.

Jeżeli nie życzy sobie Pani/Pan uczestniczyć w badaniu, prosimy o przekreślenie tego kwestionariusza, podpisanie go i zwrot do zespołu badaczy. Fakt ten nie będzie miał najmniejszego wpływu na udział Pani/Pana w zajęciach szkoleniowych i treningowych z nurkowania.

Załącznik nr 4.2: „Formularz świadomej zgody na udział w badaniu”.

Załącznik nr 4.2

FORMULARZ ŚWIADOMEJ ZGODY NA UDZIAŁ W BADANIU

Temat badania: **„ Badania wpływu ekspozycji hiperbarycznej na stan ucha środkowego mierzonej za pomocą audiometrii impedancyjnej w nurkowaniach służbowych w zależności od technologii i warunków nurkowania”**

Ja, niżej podpisany/a ..... *(imię i nazwisko osoby badanej)* oświadczam, że zostałem/am poinformowany/a przez **lek. med. Jarosława KIJEWSKIEGO** o celu powyższego badania, czasie trwania, sposobie jego przeprowadzenia, oczekiwanych korzyściach, ewentualnym ryzyku i zagrożeniach, wszelkich niedogodnościach związanych z uczestnictwem w tym badaniu oraz o moich prawach i obowiązkach.

Przeczytałem/am też i zrozumiałem/am treść Formularza Informacyjnego dla Pacjenta. Poinformowano mnie, że dodatkowe pytania dotyczące badania mogę kierować bezpośrednio do osoby prowadzącej badania, i że uzyskam na nie wyczerpującą odpowiedź.

Oświadczam, że wszelkie podane przeze mnie informacje są zgodne z prawdą i zapewniam, że będę informował/a na bieżąco o wszelkich zmianach w stanie mojego zdrowia, w tym o fakcie ewentualnego zajścia w ciążę.

Jestem świadomy/a przysługującego mi prawa do odstąpienia od udziału w badaniu na każdym jego etapie, bez podania przyczyny. Wiem również, że skorzystanie z tego prawa nie wpłynie na dalszy przebieg mojego leczenia. Otrzymałem/am do rąk własnych Formularz Informacyjny dla Pacjenta oraz Formularz Świadomej Zgody na udział w badaniu.

Niniejszym wyrażam pełną, świadomą i dobrowolną zgodę na udział w tym badaniu oraz na anonimowe przetwarzanie, udostępnianie i na publikacje wyników moich badań, zgodnie z Ustawą o ochronie danych osobowych z dnia 29.08.1997 r.

.....
imię i nazwisko osoby badanej (drukowanymi literami)

....
podpis osoby badanej *data*

Oświadczenie osoby odbierającej Formularz Świadomej Zgody

Ja niżej podpisany/a wyjaśniłem/am osobie badanej szczegóły proponowanego badania, zgodnie z opisem w Formularzu Informacyjnym dla Pacjenta. Zanim podjęte zostały jakiekolwiek procedury omówiłem/am z Pacjentem/tką jego/jej udział w całym programie badawczym, informując o celu i charakterze badania oraz o korzyściach i zagrożeniach wynikających z udziału w tym procesie. Przekazałem/am do rąk własnych Pacjenta/tki Formularz Świadomej Zgody na udział w badaniu

JAROSŁAW KIJEWSKI
imię i nazwisko badacza (drukowanymi literami)

....
podpis badacza *data*

Załącznik nr 4.3: Arkusz badania nurka.

Załącznik nr 4.3

ARKUSZ BADANIA NURKA

WYWIAD LEKARSKI I SPRAWDZENIE SPRZĘTU					
Wypełnia nurek			**Wypełnia nurek**		
Imię:			Imię:		
Nazwisko:			Nazwisko:		
Tak	**Nie**	**Wywiad**	**Tak**	**Nie**	**Wywiad**
		Czy czujesz się zdolny do nurkowania?			Czy czujesz się zdolny do nurkowania?
		Czy w ciągu ostatnich 24 godzin piłeś alkohol?			Czy w ciągu ostatnich 24 godzin piłeś alkohol?
		Czy jesteś wyspany i wypoczęty?			Czy jesteś wyspany i wypoczęty?
		Czy sprawdziłeś poprawność działania sprzętu i jego ukompletowanie?			Czy sprawdziłeś poprawność działania sprzętu i jego ukompletowanie?
Komisja lekarska z dnia:			Komisja lekarska z dnia:		
Test tolerancji tlenowej z dnia:			Test tolerancji tlenowej z dnia:		
Ostatnie nurkowanie data:			**Ostatnie nurkowanie** data:		
rodzaj czynnika oddechowego:			rodzaj czynnika oddechowego:		
głębokość:			głębokość:		
czas pobytu na dnie:			czas pobytu na dnie:		
Stwierdzam prawdziwość powyższych danych podpis nurka:			**Stwierdzam prawdziwość powyższych danych** podpis nurka:		
Badania lekarskie (wypełnia lekarz)					
Tętno			Tętno		
Ciśnienie tętnicze krwi			Ciśnienie tętnicze krwi		
Liczba oddechów na minutę			Liczba oddechów na minutę		
Opinia lekarza: Data, podpis i pieczęć lekarza:			Opinia lekarza: Data, podpis i pieczęć lekarza:		

Załącznik nr 4.4: Tabela badania.

Załącznik nr 4.4

BADANIE DN……..

OPIS ZAJĘĆ……

……

L.p.	Nr bad.	Dane osobowe, płeć ,wiek	Doświadczenie zawodowe	Wywiad ORL	Uwagi

Streszczenie

Wstęp

Wieloletnie i wielokrotne ekspozycje hiperbaryczne mogą mieć odległy i negatywny wpływ na funkcjonowanie ucha środkowego. Na destrukcyjne odziaływanie wysokiego ciśnienia narażone są w szczególności elementy przewodzące dźwięk t.j. błona bębenkowa, łańcuch kosteczek słuchowych, stawy i więzadła. Z dostępnego powszechnie piśmiennictwa jednoznacznie wynika, że stopień uszkodzenia struktur ucha środkowego jest uzależniony od barofunkcji trąbki słuchowej, której to dysfunkcja może doprowadzić do urazu ciśnieniowego ucha podczas nurkowania. Ze względu na zróżnicowany stopień narażenia ucha środkowego na działanie podwyższonego ciśnienia u osób nurkujących wynikający m.in. z technologii i warunków nurkowania, zasadne jest zastosowanie w trakcie kwalifikacji lekarskiej do nurkowania, panelu diagnostycznego poszerzonego o badania czynnościowe ucha środkowego i trąbki słuchowej. Nieliczne doniesienia naukowe wskazują na ważną rolę audiometrii impedancyjnej, w ocenie funkcji i stanu ucha środkowego u osób nurkujących, co stało się podstawą do realizacji badań związanych z tematyką powyższej pracy.

Cel pracy

Nadrzędnym celem pracy była ocena wpływu wykonywanych nurkowań na fizjologiczny i anatomiczny stan błony bębenkowej oraz ucha środkowego w zależności od technologii nurkowania, wykonywana w warunkach rzeczywistych i pozorowanych nurkowań. Wykorzystano w tym celu metody audiometrii impedancyjnej w pomiarach ciśnienia i podatności ucha środkowego przed i po ekspozycji hiperbarycznej.

Materiał i metody

Grupa badawcza składała się z 99 doświadczonych nurków wojskowych MSWiA PSP i podchorążych AMW, odbywających nurkowania symulowane w komorze hiperbarycznej i w warunkach rzeczywistych w wodzie. Grupę kontrolną stanowiło 38 zdrowych ochotników, żołnierzy zawodowych i podchorążych szkół wojskowych, bez doświadczenia nurkowego, poddawanych ekspozycji hiperbarycznej w innych niż szkolenie nurkowe celach. Wszyscy uczestnicy badania, przed i po ekspozycji, byli poddani konsultacji

laryngologicznej oraz przechodzili badania impedancji ucha środkowego i drożności trąbki słuchowej.

Wyniki

Wykazano istotny statystycznie wpływ nurkowania i ekspozycji w komorze hiperbarycznej na wzrost wartości średnich ciśnienia i podatności ucha środkowego u nurków w porównaniu do osób bez doświadczenia nurkowego. Obserwowany wzrost podatności ucha środkowego po nurkowaniu i ekspozycji występował już u młodych i średnio doświadczonych nurków (staż pracy do 5 lat), w przedziale wiekowym do III i III-IV dekady życia. Warunki prowadzonego szkolenia oraz zastosowana technologia nurkowania z wykorzystaniem różnych czynników oddechowych, nie wpłynęły w sposób istotny statystycznie na porównawcze wyniki pomiarów audiometrii impedancyjnej. W grupie nurków zgłaszających problemy i dolegliwości podczas szkolenia zaobserwowano również wzrost ciśnienia w uchu środkowym po nurkowaniu i ekspozycji w komorze hiperbarycznej. Dodatkowo powyższa grupa nurkujących była bardziej obciążona schorzeniami i dolegliwościami laryngologicznymi, leczonymi w przeszłości.

Wnioski

Otrzymane wyniki badań mogą wskazywać na powstanie zmian strukturalnych ucha środkowego u nurków, wyrażonych pośrednio zmianami ciśnienia i podatności ucha środkowego, mierzonych metodą audiometrii impedancyjnej. Zmiany te mogą powstawać już po kilkuletnim narażeniu na wielokrotne oddziaływanie hiperbarii na ucho środkowe i nasilać się wraz z wiekiem i doświadczeniem zawodowym nurka**.** Schorzenia i dolegliwości laryngologiczne u nurków mogą stwarzać ryzyko urazu ciśnieniowego ucha podczas ekspozycji hiperbarycznej. Audiometria impedancyjna wydaje się być czułą metodą diagnostyczną, umożliwiającą monitorowanie stanu klinicznego ucha środkowego u nurków wojskowych z uwzględnieniem wystąpienia ryzyka powikłań laryngologicznych, w tym m.in. urazu ciśnieniowego ucha środkowego, po różnych typach nurkowania.

Słowa kluczowe

audiometria impedancyjna, nurkowanie, ucho środkowe, uraz ciśnieniowy ucha, ekspozycja hiperbaryczna

Abstract

Introduction

Long-term and repeated hyperbaric exposure may have distant and negative effects on the functioning of the middle ear. Sound conducting elements such as eardrum, a chain of the auditory ossicles, joints and ligaments are mostly exposed to the destructive effects of high pressure. The commonly available literature clearly shows that the degree of damage to the structures of the middle ear depends on the barofunction of the auditory tube, the disfunction of which may lead to an ear pressure injury during diving. Due to the varying degree of exposure of the middle ear to increased pressure in divers, resulting from the technology and conditions of diving, it is reasonable to use a diagnostic panel during medical qualification for diving, extended with the middle ear and the Eustachian tube function test. Only few scientific reports indicate an important role of impedance audiometry in the assessment of the function and condition of the middle ear in divers, which was the basis for the implementation of research related to the subject of the work.

Aim

The overriding aim of this work was to assess the impact of the dives on the physiological and anatomical condition of the eardrum and the middle ear, depending on the diving technology, in real and simulate dives. For this purpose, the methods of impedance audiometry were used to measure pressure and compliance of the middle ear before and after hyperbaric exposure.

Materials and methods

The research group consisted of 99 experienced military divers and cadets performing dives simulated in a hyperbaric chamber and in real water conditions. The control group consisted of 38 healthy volunteers , professional soldiers and cadets of military schools, without diving experience, subjected to hyperbaric exposure for purposes other than diving training. All participants of the study, before and after the exposure, were subjected to laryngological consultation and tests of middle ear impedance and patency of the Eustachian tube.

Results

Research showed a statistically significant impact of diving and exposure in a hyperbaric chamber on the increase in the mean values of pressure and compliance of the middle ear in divers, compared to people without diving experience. The observed increase in the compliance of the middle ear after diving and exposure already occurred in young and moderately experienced divers (work experience up to 5 years), in the age rage up to the III and III-IV decade of life. The conditions of the training and the diving technology used with various breathing mixtures, did not have a statistically significant effect on the comparative results of impedance audiometry measurements.

In the group of divers reporting problems and complaints during training, an increase in pressure in the middle ear was also observed after diving and exposure to a hyperbaric chamber. In addition, the above group of divers was more burdened with diseases and ENT problems treated in the past.

Conclusions

The obtained test results may indicate structural changes in the middle ear in divers, expressed indirectly by changes in pressure and compliance of the middle ear, measured by impedance audiometry. These changes may arise after several years of exposure to multiple effects of hyperbaria on the middle ear and intensify with the age and professional experience of the diver. Ailments and ENT disorders in divers may pose a risk of barotrauma to the ear during hyperbaric exposure. Impedance audiometry seems to be a sensitive diagnostic method, that allows monitoring the clinical condition of the middle ear in military divers, taking into account the risk of ENT complications, including the middle ear barotrauma after various types of diving.

Keywords

impedance audiometry, scuba diving, middle ear, middle ear barotrauma, hyperbaric exposure

VIII. PIŚMIENNICTWO

1. Edmonds, C., et al., *Diving and subaquatic medicine*. 2015: CRC Press.
2. Acott, C., *A brief history of diving and decompression illness.* 1999.
3. Bauer, J. and A.P.H.o.D. Bauer, *The Hard Hat Diving Helmet.* 1988: p. 16-37.
4. Davis, R.H., *Deep diving and submarine operations: A manual for deep sea divers and compressed air workers*. 1981: Siebe, Gorman.
5. Butler, W., *Caisson disease during the construction of the Eads and Brooklyn Bridges: A review.* 2004.
6. Behnke, A., The Physiology, M.o. Diving, and C.a. work, *Some early studies of decompression.* 1969: p. 226-251.
7. Sieroń, A.R., G. Cieślar, and M. Kawecki, *Zarys medycyny hiperbarycznej*. 2006.
8. Paprocki, J., et al., *Aktualne zastosowanie hiperbarii tlenowej.* 2016. **4**: p. 217-222.
9. Narożny, W. and J. Siebert. *Możliwości i ograniczenia stosowania tlenu hiperbarycznego w medycynie*. in *Forum Medycyny Rodzinnej*. 2007.
10. Lafere, P., D. Vanhoutte, and P. Germonpre, *Hyperbaric oxygen therapy for acute noise-induced hearing loss: evaluation of different treatment regimens.* Diving Hyperb Med, 2010. **40**(2): p. 63-7.
11. Sherlock, S., et al., *Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of sudden sensorineural hearing loss: a retrospective analysis of outcomes.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(3): p. 160-165.
12. Krajcovicova, Z., et al., *Efficacy of hyperbaric oxygen therapy as a supplementary therapy of sudden sensorineural hearing loss in the Slovak Republic.* Undersea Hyperb Med, 2018. **45**(3): p. 363-370.
13. Chin, C.S., T.Y. Lee, and M.F. Wu, *Adjunctive hyperbaric oxygen treatment for idiopathic sudden sensorineural hearing loss.* Undersea Hyperb Med, 2017. **44**(1): p. 63-71.
14. Saxby, A., et al., *Malignant otitis externa: experience with hyperbaric oxygen therapy.* Diving Hyperb Med, 2010. **40**(4): p. 195-200.
15. Buda, K., 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.* 2013.
16. Narożny, W., et al., *Powikłania tlenowej terapii hiperbarycznej w otolaryngologii.* 2009. **63**(1): p. 25-29.
17. Ng, A.W.A., R. Muller, and J. Orton, *Incidence of middle ear barotrauma in staged versus linear chamber compression during hyperbaric oxygen therapy: a double blinded, randomized controlled trial.* Undersea Hyperb Med, 2017. **44**(2): p. 101-107.
18. Commons, K.H., D.F. Blake, and L.H. Brown, *A prospective analysis of independent patient risk factors for middle ear barotrauma in a multiplace hyperbaric chamber.* Diving Hyperb Med, 2013. **43**(3): p. 143-7.
19. Fijen, V.A., et al., *Tympanic membrane bleeding complications during hyperbaric oxygen treatment in patients with or without antiplatelet and anticoagulant drug treatment.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(1): p. 22-5.
20. Song, M., S.J. Hoon, and T.M. Shin, *An anti-barotrauma system for preventing barotrauma during hyperbaric oxygen therapy.* Undersea Hyperb Med, 2018. **45**(1): p. 19-25.

21. Wojcik, S., et al., *Middle ear barotrauma in hyperbaric oxygen therapy.* 2014. **41**(5): p. 393-397.
22. Lehm, J.P. and M.H. Bennett, *Predictors of middle ear barotrauma associated with hyperbaric oxygen therapy.* 2003.
23. Olszański, R. and W.I.M. . *Postępy medycyny podwodnej i hiperbarycznej*. 2018: Wojskowy Instytut Medyczny. 279-292
24. *Oficjalna strona internetowa Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego, www.cmkp.edu.pl/ksztalcenie/studia-specjalizacyjne-lekarzy/ (dostęp 13.05.2020)*
25. Bochenek, R., Red. W. Łasiński,, *Anatomia człowieka. Tom V. Układ nerwowy obwodowy. Układ nerwowy autonomiczny. Powłoka wspólna. Narządy zmysłów*. 1989, Warszawa: PZWL. 380-382.
26. Janina Sokołowska-Pituchowa, W.S., *Anatomia człowieka: podręcznik dla studentów medycyny*. 1992: Państ. Zakład Wydawnictw Lekarskich. 855-860.
27. Olszański, R. and W.I.M. . *Wybrane problemy medycyny nurkowej i hiperbarycznej*. 2017: Wojskowy Instytut Medyczny. 100-104, 285-286.
28. Azizi, M.H., *Ear disorders in scuba divers.* Int J Occup Environ Med, 2011. **2**(1): p. 20-6.
29. Livingstone, D.M., K.A. Smith, and B. Lange, *Scuba diving and otology: a systematic review with recommendations on diagnosis, treatment and post-operative care.* Diving and hyperbaric medicine, 2017. **47**(2): p. 97-109.
30. Buzzacott, P. and D.A.J.D.A.N.D. Network, NC, USA, *DAN Annual Diving Report.* 2018.
31. Vann, R. and M. Lang, *Recreational diving fatalities workshop: summary*. 2011, Divers Alert Network.
32. Krzyżak, J.P.H.R., *Statystyka ciężkich urazów nurkowych wśród polskich nurków w latach 2003-2014.* 2014(4 (49)): p. 7--18.
33. Gonnermann, A., et al., *Otorhinolaryngologic disorders in association with scuba diving*, in *HNO*. 2008. p. 519-23.
34. Roydhouse, N., *1001 disorders of the ear, nose and sinuses in scuba divers*, in *Can J Appl Sport Sci*. 1985. p. 99-103.
35. Klingmann, C., et al., *Otorhinolaryngologic disorders and diving accidents: an analysis of 306 divers*, in *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2007. p. 1243-51.
36. Ralph Suke, *Ralph Suke.: Medical Aspects of Scuba Diving. Can Fam Physician. 1985 Nov; 31: 2133–2136.* 1985.
37. Goplen, F.K., *Effects of diving on hearing and balance.* 2011.
38. Janczewski. G, V.M., Gdańsk, *Otolaryngologia Praktyczna*. Vol. Tom I. 2007, Gdańsk: Via Medica. 16-18, 83-84.
39. Wingelaar, T.T., P.A. van Ooij, and R.A. van Hulst, *Otitis externa in military divers: more frequent and less harmful than reported.* Diving Hyperb Med, 2017. **47**(1): p. 4-8.
40. Rosenfeld, R.M., et al., *Clinical practice guideline: acute otitis externa.* Otolaryngol Head Neck Surg, 2014. **150**(1 Suppl): p. S1-s24.
41. Sheard, P.W. and M. Doherty, *Prevalence and severity of external auditory exostoses in breath-hold divers.* J Laryngol Otol, 2008. **122**(11): p. 1162-7.
42. Bender-Heine, A., Z.W. Dillard, and M.J. Zdilla, *Alternobaric vertigo and facial baroparesis caused by scuba diving and relieved by chewing pineapple: a case report.* Undersea Hyperb Med, 2017. **44**(6): p. 607-610.

43. Uzun, C., et al., *Alternobaric vertigo in sport SCUBA divers and the risk factors*, in *J Laryngol Otol*. 2003. p. 854-60.
44. Klingmann, C., et al., *Alternobaric vertigo--really a hazard?*, in *Otol Neurotol*. 2006. p. 1120-5.
45. Kitajima, N., A. Sugita-Kitajima, and S. Kitajima, *Altered eustachian tube function in SCUBA divers with alternobaric vertigo*, in *Otol Neurotol*. 2014. p. 850-6.
46. Olszański, R., *Wybrane problemy medycyny morskiej i nurkowej*. 2012: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej. 313-326.
47. *Recommended procedure: Tympanometry. British Society of Audiology 2013. www.thebsa.org.uk/resources/recommendedprocedure-tympanometry Accessed May 5, 2018.*
48. Lynch, J.H. and A.A. Bove, *Diving medicine: a review of current evidence.* J Spec Oper Med, 2009. **9**(4): p. 72-9.
49. Vann, R.D., et al., *Decompression illness.* Lancet, 2011. **377**(9760): p. 153-64.
50. ONeill, O.J. and A.J. Frank, *Ear Barotrauma*, in *StatPearls [Internet]*. 2019, StatPearls Publishing.
51. Edmonds, C., *Otological aspects of diving*. 1973: Australasian Medical Publishing Company.
52. Farmer Jr, J.C., et al., *Inner ear decompression sickness.* 1976. **86**(9): p. 1315-1327.
53. MJ, S., *Uraz ciśnieniowy uszu i zatok przynosowych związany z nurkowaniem.* Magazyn Otorynolaryngologiczny, 2014. **51(3)**: p. 114-121.
54. Becker, G.D. and G.J.J.E.a.o.o.-r.-l. Parell, *Barotrauma of the ears and sinuses after scuba diving.* 2001. **258**(4): p. 159-163.
55. Glazer, T.A. and S.A. Telian, *Otologic Hazards Related to Scuba Diving.* Sports health, 2016. **8**(2): p. 140-144.
56. Blake, D.F., et al., *Middle ear barotrauma in a tourist-oriented, condensed open-water diver certification course: incidence and effect of language of instruction.* Diving Hyperb Med, 2015. **45**(3): p. 176-80.
57. Brett, K.D. and W. Meintjes, *Incidence of otic barotrauma in Canadian Armed Forces shallow-water diver candidate students 2011-2015.* Undersea Hyperb Med, 2018. **45**(3): p. 249-255.
58. Carmichael, M.L. and K.P. Boyev, *Middle ear barotrauma causing transient facial nerve paralysis after scuba diving.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(4): p. 260-261.
59. Covington, D. and A. Pitkin, *Underwater nasal decongestant use: a novel approach to middle ear equalization.* Undersea Hyperb Med, 2018. **45**(6): p. 679-682.
60. Mawle, S. and C.V. Jackson, *An investigation of ear trauma in divers including ear barotrauma and ear infection.* 2002. **13**: p. 47-50.
61. Lynch, J.H. and T.G. Deaton, *Barotrauma with extreme pressures in sport: from scuba to skydiving.* Curr Sports Med Rep, 2014. **13**(2): p. 107-12.
62. Smart, D., *Ruptured tympanic membrane from underwater impact with an Atlantic salmon, Salmo salar.* Diving Hyperb Med, 2017. **47**(3): p. 201-202.
63. Uzun, C., *Evaluation of predive parameters related to eustachian tube dysfunction for symptomatic middle ear barotrauma in divers*, in *Otol Neurotol*. 2005. p. 59-64.

64. Chauhan, B. and K. Chauhan, *A comparative study of eustachian tube functions in normal and diseased ears with tympanometry and videonasopharyngoscopy*, in *Indian journal of otolaryngology and head and neck surgery : official publication of the Association of Otolaryngologists of India*. 2013, Springer India. p. 468-476.
65. Hulse, M., *The influence of nasal respiration on the function of the auditory tube.* Clin Otolaryngol Allied Sci, 1978. **3**(4): p. 463-8.
66. Sanu, S.E., et al., *Dynamic Slow Motion Video Endoscopy as an Adjunct to Impedance Audiometry in the Assessment of Eustachian Tube Function.* Int Arch Otorhinolaryngol, 2018. **22**(2): p. 141-145.
67. Kitajima, N., A. Sugita-Kitajima, and S. Kitajima, *Quantitative analysis of inner-ear barotrauma using a Eustachian tube function analyzer.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(2): p. 76-81.
68. Duplessis, C., et al., *A Pilot Study Evaluating Surfactant on Eustachian Tube Function in Divers.* Military Medicine, 2008. **173**(12): p. 1225-1232.
69. Özyurt, D., *EFFECTS OF SCUBA DIVING ON MIDDLE EAR PRESSURE*. 2006, middle east technical university.
70. Lechner, M., et al., *Otorhinolaryngology and Diving—Part 1: Otorhinolaryngological Hazards Related to Compressed Gas Scuba Diving:.* JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery, 2018. **144**(3): p. 252-258.
71. Lechner, M., et al., *Otorhinolaryngology and Diving—Part 2: Otorhinolaryngological Fitness for Compressed Gas Scuba Diving:.* JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery, 2018. **144**(3): p. 259-263.
72. Uzun, C., et al., *Use of the nine-step inflation/deflation test as a predictor of middle ear barotrauma in sports scuba divers.* Br J Audiol, 2000. **34**(3): p. 153-63.
73. Shupak, A., et al., *Oxygen diving-induced middle ear under-aeration.* 1995. **115**(3): p. 422-426.
74. Elliott, E.J. and D.R. Smart, *The assessment and management of inner ear barotrauma in divers and recommendations for returning to diving.* Diving Hyperb Med, 2014. **44**(4): p. 208-22.
75. Morvan, J.B., et al., *Perilymphatic fistula after underwater diving: a series of 11 cases.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(2): p. 72-5.
76. Taylor, D.M., J. Lippmann, and D. Smith, *The absence of hearing loss in otologically asymptomatic recreational scuba divers.* Undersea Hyperb Med, 2006. **33**(2): p. 135-41.
77. Śliwińska-Kowalska, M., et al., *Nagły niedosłuch czuciowo-nerwowy-stanowisko Polskiego Towarzystwa Audiologicznego i Foniatrycznego dotyczące zaleceń diagnostycznych i terapeutycznych.* 2015. **14**(2).
78. Chandrasekhar, S.S., et al., *Clinical Practice Guideline: Sudden Hearing Loss (Update).* Otolaryngol Head Neck Surg, 2019. **161**(1_suppl): p. S1-s45.
79. Shupak, A., *Recurrent diving-related inner ear barotrauma.* Otol Neurotol, 2006. **27**(8): p. 1193-6.
80. Tal, D., et al., *Inner ear decompression sickness and mal de debarquement.* Otol Neurotol, 2005. **26**(6): p. 1204-7.
81. Guenzani, S., et al., *Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers.* Diving Hyperb Med, 2016. **46**(2): p. 111-6.

82. *Rozporządzenie MON z dnia 21.06.2012 r. w sprawie warunków bezpieczeństwa wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez Ministra Obrony Narodowej. Dz. U. z 2012, poz. 810.*
83. *Zasady zabezpieczenia medycznego nurkowań głębokich. Sygn. Mar. Woj. 872/82.*
84. *Instrukcja zabezpieczenia medycznego nurkowania i prac podwodnych w MW; Gdynia 2013. sygnatura Mar. Woj. 1372/2013.*
85. *Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 13.07.2005 r. w sprawie wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez Ministra Obrony Narodowej. Dz. U. z 2005, nr 185, poz. 1547.*
86. *Przepisy nurkowania. Dowództwo Marynarki Wojennej, Gdynia 1984. Sygn. Mar. Woj. 913/84.*
87. *Norma Obronna „Badania medyczne w wypadkach nurkowych". Nr ref. NO-07-A026:2001.*
88. Nagai, H., et al., *Effect of increased middle ear pressure on blood flow to the middle ear, inner ear and facial nerve in guinea pigs.* Acta Otolaryngol, 1996. **116**(3): p. 439-42.
89. Kamide, D., T. Matsunobu, and A. Shiotani, *Facial baroparesis caused by scuba diving.* Case Rep Otolaryngol, 2012. **2012**: p. 329536.
90. Mallen, J.R. and D.S.J.T.L. Roberts, *SCUBA Medicine for otolaryngologists: Part I. Diving into SCUBA physiology and injury prevention.* 2020. **130**(1): p. 52-58.
91. Jansen, S., et al., *Repetitive freshwater diving: risk factors and prevalence of barotrauma.* Undersea & hyperbaric medicine : journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc, 2017. **44**(5): p. 407-414.
92. Landolfi, A., et al., *Acute otitic barotrauma during hypobaric chamber training: prevalence and prevention.* 2009. **80**(12): p. 1059-1062.
93. Anoraga, J., et al. *An overview of changes in pressure values of the middle ear using impedance audiometry among diver candidates in a hyperbaric chamber before and after a pressure test*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. IOP Publishing.
94. Śliwińska-Kowalska, M. and A. Obrębowski, *Audiologia kliniczna*. 2005: Mediton Oficyna Wydawnicza.
95. Mikołajewski, R., *Wprowadzenie do audiometrii impedancyjnej*. 1994: Centrum Obsługi Osób Źle Słyszących. Zakład Opieki Zdrowotnej i Rehabilitacji "Alpicon".
96. Trąbka-Zawicki, P. and A. Steczko, Otolaryngologia Polska, *Rozwój audiometrii impedancyjnej.* 2004. **58**(1): p. 149-150.
97. Hojan, E., *Protetyka słuchu*. 2014: Wydawnictwo Naukowe UAM. 212-220.
98. Śliwa, L. and K. Kochanek, *New methods in acoustic immittance measurements. Part 1. Multicomponent, multifrequency tympanometry.* Now Audiofonol, 2016. **5(3)**: p. 9-21.
99. Roup, C.M., et al., *Tympanometric Screening Norms for Adults.* Am J Audiol, 1998. **7**(2): p. 55-60.
100. Jerger, J., *Clinical experience with impedance audiometry.* Arch Otolaryngol, 1970. **92**(4): p. 311-24.
101. Piłka, E. and P. Dobrzyński, *Testy oceniające drożność trąbki słuchowej w codziennej praktyce audiologicznej.* 2015.

102. Schuchman, G., H.Z.J.E. Joachims, and hearing, *Tympanometric assessment of eustachian tube function of divers.* 1985. **6**(6): p. 325-328.
103. Williams, P.S., *A tympanometric pressure swallow test for assessment of eustachian tube function.* Ann Otol Rhinol Laryngol, 1975. **84**(3 Pt 1): p. 339-43.
104. Meyer, M.F., et al., *Influence of repetitive diving in saltwater on pressure equalization and Eustachian tube function in recreational scuba divers.* Diving Hyperb Med, 2017. **47**(4): p. 214-215.
105. Jansen, S., et al., *Influence of repetitive diving in freshwater on pressure equalization and Eustachian tube function in recreational scuba divers.* Diving Hyperb Med, 2017. **47**(4): p. 223-227.
106. Georgiev, K. and N. Shopov, *Eustachian tube function test as a predictor of middle ear barotrauma.* International Maritime Health, 2020. **71**(3): p. 195-200.
107. Cyran, A.M., et al., *Tympanometric evaluation of Eustachian tube function in Polish scuba divers.* Undersea Hyperb Med, 2018. **45**(4): p. 437-443.
108. Lachowska, M. and N.p. Dyplomie, *Diagnostyka różnicowa zaburzeń słyszenia.* 2012. **7**: p. 47-53.
109. Skarżyński H., P.A.N., *Najczęstsze problemy medyczne wieku starszego w Polsce.* 2014. **1**: p. 8-10.
110. Składzień., J., *Głuchota starcza (presbyacusis) i starcze zawroty głowy (presbyvertiago).[w:] Grodzicki Tomasz, Kocemba Józef, Skalska Anna (red.) Geriatria z elementami gerontologii ogólnej.* 2007: p. 365-372.
111. Elner, A., S. Ingelstedt, and A. Ivarsson, *The elastic properties of the tympanic membrance system.* Acta Otolaryngol, 1971. **72**(6): p. 397-403.
112. Ivarsson, A., O. Tjernström, and R. Uddman, *The elastic properties of the tympanic membrane system in divers and non-divers.* Acta Otolaryngol, 1980. **89**(1-2): p. 33-6.
113. Paaske, P.B., et al., *Impedance measurement in divers during a scuba-diving training programme*, in *Clin Otolaryngol Allied Sci*. 1991. p. 145-8.
114. Öktem N, K.B., Cansız H,& Aktaş Ş *The effects of scuba diving on the middle ear compliance.* TKBBV 2000.
115. Shupak, A., et al., *Pressure chamber tympanometry in diving candidates.* Ann Otol Rhinol Laryngol, 1991. **100**(8): p. 658-60.
116. Green, S.M., S.G. Rothrock, and E.A. Green, *Tympanometric evaluation of middle ear barotrauma during recreational scuba diving*, in *Int J Sports Med*. 1993. p. 411-5.
117. Ramos, C.C., P.B. Rapoport, and R.V. Brito Neto, *Clinical and tympanometric findings in repeated recreational scuba diving*, in *Travel Med Infect Dis*. 2005. p. 19-25.
118. Koriwchak, M.J. and J.A.J.J.o.W.M. Werkhaven, *Middle ear barotrauma in scuba divers.* 1994. **5**(4): p. 389-398.

OŚWIADCZENIE O SAMODZIELNYM NAPISANIU PRACY DOKTORSKIEJ

Warszawa,……

JAROSŁAW KIJEWSKI

.....

Imię i nazwisko kandydata

ul. Gen. Mariusza Zaruskiego 8a/5

81-577 Gdynia

.....

Adres zamieszkania

OŚWIADCZENIE

Świadom(a) odpowiedzialności prawnej oświadczam, że złożona praca doktorska pt.:

„Badania wpływu ekspozycji hiperbarycznej na stan ucha środkowego mierzonej za pomocą audiometrii impedancyjnej w nurkowaniach służbowych w zależności od technologii i warunków nurkowania”

została napisana przeze mnie samodzielnie. Równocześnie oświadczam, że praca ta nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. 1994, nr 24, poz. 83) i dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym oraz nie zawiera informacji i danych uzyskanych w sposób nielegalny i nie była wcześniej przedmiotem innych procedur urzędowych związanych z uzyskaniem dyplomów lub tytułów zawodowych uczelni wyższej.

.....

podpis kandydata

OŚWIADCZENIE O UDOSTĘPNIENIU PRACY DOKTORSKIEJ

Warszawa,……

JAROSŁAW KIJEWSKI

.....

Imię i nazwisko kandydata

ul. Gen. Mariusza Zaruskiego 8a/5

81-577 Gdynia

.....

Adres zamieszkania

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że jestem autorem rozprawy doktorskiej pt.

„Badania wpływu ekspozycji hiperbarycznej na stan ucha środkowego mierzonej za pomocą audiometrii impedancyjnej w nurkowaniach służbowych w zależności od technologii i warunków nurkowania"

Wyrażam zgodę na udostępnianie egzemplarza mojej dysertacji w Czytelni Biblioteki WIHE, z zastrzeżeniem, że udostępnianie to następować będzie wyłącznie na miejscu, w lokalu Biblioteki.

.....

podpis autora rozprawy