Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii

Krzysztof Dziewiatowski

USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z podaniem kontrastu dożylnie (c-TCD) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnegou nurków

Rozprawa na stopień naukowy doktora nauk medycznych

Promotor: dr hab. med. Piotr Siermontowski, prof. AMW

Warszawa 2022

Podziękowania

Serdeczne podziękowania składam wszystkim, bez których ta praca by nie powstała.

Bardzo dziękuję Panu dr hab. n. med. Piotrowi Siermontowskiemu – promotorowi mojej rozprawy doktorskiej za pomoc, życzliwość i opiekę w trakcie jej realizacji.

Szczególnie jestem wdzięczny Panu dr n. med. Piotrowi Łyczakowi, mojemu pierwszemu Szefowi, który łagodną perswazją przekonał mnie do podjęcia tego wysiłku.

Za pomoc udzieloną przy zbieraniu materiału do pracy doktorskiej bardzo chciałbym podziękować koleżankom i kolegom z Oddziału Neurologii Szpitala Marynarki Wojennej w Gdańsku.

Pracę tę dedykuję moim Rodzicom, którzy zawsze zachęcali mnie do osiąganiu kolejnych celów oraz mojej Rodzinie za wspieranie, cierpliwość i wyrozumiałość podczas jej pisania.

Spis treści

1 Wykaz skrótów użytych w pracy 4

2 Wstęp…. 5

2.1 Historia nurkowania 5
2.2 Fizyka nurkowania 7
2.3 Fizjologia oddychania 9
2.4 Choroba dekompresyjna 11
2.5 Przetrwały otwór owalny 13
2.6 Sposoby detekcji PFO 18
2.7 Wymogi dotyczące diagnostyki w kierunku PFO w przepisach regulujących zdolność do nurkowania w Polsce. 19

3 Cele pracy 22

4 Materiał i metody 22

4.1 Grupa badana 22
4.2 Metoda badawcza 22

5 Wyniki badań. 29

5.1 Ilość i odsetek badań echokardiografii przezklatkowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków 29
5.2 Ilość i odsetek badań echokardiografii przezprzełykowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków przed badaniem TCD. 30
5.3 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu Echokardiografii przezklatkowej oraz echokardiografii przezprzełykowej przed badaniem cTCD. 31
5.4 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu USG kontrastowej sonografii dopplerowskiej. 32
5.5 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych w poszczególnych grupach badanych nurków w rozbiciu na stopień przecieku. 34
5.6 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezklatkową. 36
5.7 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezprzełykową. 37
5.8 Ilość i odsetek badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno - tętniczym 38
5.9 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE (Tab. 10). 43

5.10 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE, w rozbiciu na stopień przecieku prawo – lewo. 47
5.11 Ilość i odsetek malformacji tętniczo- żylnych wykrytych w dotychczasowych badaniach RTG lub TK klatki piersiowej u nurków w poszczególnych grupach 50
5.12 Łączna ilość badań wykonanych przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej lub przezklatkowej u nurków ze stwierdzonym przeciekiem żylno – tętniczym oraz ilość i odsetek wykrytych przy ich pomocy ubytków przegrody międzyprzedsionkowej 51
5.13 Ilość zgłoszonych epizodów choroby dekompresyjnej w korelacji do wykazanego w cTCD przecieku żylno – tętniczego oraz PFO wykrytego w kontrolnym cTEE 54
5.14 Ilość i odsetek nurków ze stwierdzonym PFO, zakwalifikowanych do endowaskularnego zamknięcia przetrwałego otworu owalnego w Klinice Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. 55
5.15 Statystyki opisowe dotyczące wartości średnich dla wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania dla poszczególnych grup nurków. 57
5.16 Analiza statystyczna różnic wieku, masy ciała wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania między poszczególnymi grupami nurków przy pomocy testu Kruskala-Wallisa. 58
5.17 Analiza w podziale na stopień przecieku żylno - tętniczego dla poszczególnych grup nurków w zależności od zmiennych - wiek, masa ciała, wzrost, BMI, lata nurkowania. 60
5.18 Porównanie efektywności poszczególnych metod (echokardiografia przezklatkowa, echokardiografia przezprzełykowa i TCD z podawaniem kontrastu dożylnie) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków 64
5.19 Porównanie efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków. 66
6 Dyskusja 68
7 Wnioski 84
8 Piśmiennictwo 85
9 Zgoda komisji bioetycznej 93
10 Załączniki 94
11 Streszczenie 97
12 Summary 98
13 Wykaz rycin 99
14 Wykaz tabel 101
15 Raport z badania programem antyplagiatowym. 103

1 Wykaz skrótów użytych w pracy

c-TCD	(ang. *contrast enhanced transcranial doppler*) - USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z podaniem kontrastu dożylnie
DCS	(ang. *Decompression Sickness*) – choroba dekompresyjna
ESUS	(ang. *embolic stroke of undetermined source*) - udar mózgu o nieznanym źródle materiału zatorowego
HITS	(ang. *high intensity transient signals*) – sygnały wysokoenergetyczne
MCA	(ang. *media cerebral artery*) – tętnica środkowa mózgu
PAVM	(ang. *pulmonary arteriovenous malformations*) – płucne malformacje tętniczo - żylne
PFO	(ang. *patent foramen ovale*) - przetrwały otwór owalny
RLS	(ang. *right-to -left shunt*) – przeciek prawo – lewo lub przeciek żylno – tętniczy
TCD	(ang. *transcranial doppler)*- USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych
TEE	(ang. *transesophageal echocardiography*) – echokardiografia przezprzełykowa
TTE	(ang. *transthoracic echocardiography*) – echokardiografia przezklatkowa
WKML	Wojskowa Komisja Morsko - Lekarska

2 Wstęp

2.1 Historia nurkowania

Od tysiącleci ludzie odkrywali i zdobywali nowe terytoria - podbijali nieprzebyte puszcze, pokonywali bezlitosne, suche i gorące pustynie, przekraczali wysokie góry, przemierzali morza i oceany, wreszcie wylądowali na Księżycu i przymierzają się do podróży na Marsa. Za każdym razem, gdy pojawiła się przeszkoda, ludzka pomysłowość znajdowała sposób, by ja pokonać. Wydawało by się, że dzisiaj nie ma dla ludzi żadnych tajemnic i wszystko, co znajduje się na Ziemi zostało już odkryte, zbadane i opisane. Mimo postępów nauki i dokonywanych od setek lat odkryć, duża część naszej planety pozostaje jednak dla nas niezbadaną tajemnicą. Która konkretnie część? Oceany świata ...

Od samych początków cywilizacji woda towarzyszyła ludziom – nad rzekami, jeziorami i morzami zakładane były pierwsze osady, ludzie zanurzali się w wodzie, by zdobyć pożywienie czy ochłodzić przed upałem. Wykopaliska archeologiczne przyniosły dowody na to, że już ponad 4000 lat przez naszą erą zamieszkujący Mezopotamię ludzie nurkowali w poszukiwaniu gąbek, jedzenia oraz macicy perłowej do wytwarzania biżuterii. [1] W starożytnej Grecji bardzo dochodowe było wydobywanie z dna morskiego pereł przez nurków a już niemal 1000 lat przez naszą erą Homer wspomniał o rybakach poławiających w morzu gąbki. [2] Najbardziej znanym nurkiem starożytności był opisany w 460 roku przed naszą erą przez Herodota Grek Scyllis, który na zlecenia perskiego króla Kserksesa wydobywał z morskiego dna towary z zatopionych statków. [1-3] W kolejnych stuleciach nurkowie wykorzystywani byli w starożytnym świecie zarówno do wydobywania towarów z zatopionych w czasie sztormu statków, połowu gąbek i pereł oraz w czasie operacji wojskowych. Najbardziej znaną operacją militarną starożytności było oblężenie Tyru w 332 roku przed Chrystusem, kiedy Aleksander Wielki wykorzystał nurków do usuwania podwodnych przeszkód w porcie podczas zdobywania miasta. Sto lat później opisywano greckich nurków, którzy tworzyli przeszkody podwodne podczas obrony Syrakuz. Do czasów nowożytnych nurkowanie komercyjne kwitło we wszystkich portach Morza Śródziemnego [1].

W kolejnych stuleciach, wraz z rozwojem nauki, eksperymentowano z różnymi wynalazkami mającymi umożliwić dłuższe przebywanie pod wodą – rurkami do oddychania powietrzem atmosferycznym, workami z powietrzem które zabierano pod wodę, czy dzwonami podwodnymi. W XVI wieku Leonardo da Vinci wykonał wiele szkiców urządzeń mających wspomagać nurkowanie. Zaprojektował, między innymi, coś, co mogłoby być uznane za prototyp maski oraz płetw do pływania czy nurkowania [1, 2]. Do połowy XVIII wieku, mimo wielu prób, nie udało się skonstruować skutecznego urządzenia umożliwiającego przebywanie pod wodą. Dopiero w 1772 roku Francuz Freminet stworzył pierwszy hełm nurkowy, do którego powietrze pompowano poprzez rurę z powierzchni przy pomocy miecha. Z powodu problemów z pozbywaniem się powietrza wydychanego przez nurka, system ten umożliwiał przebywanie pod wodą przez około 10 minut [1]. Innym wynalazkiem umożliwiającym prace podwodne był zaprojektowany w 1616 roku przez Franza Kesslera dzwon nurkowy. Nurek zanurzał się pod wodę korzystając z uwięzionego w dzwonie powietrza. Urządzenie to miało prostą konstrukcję i umożliwiało jedynie krótki pobyt pod wodą, limitowany objętością zdatnego do oddychania powietrza [3]. Mimo swojej prymitywnej konstrukcji, technika wykorzystywania dzwonów nurkowych była udoskonalana, co pozwoliło w 1685 roku wydobyć skarby z wraku hiszpańskiego galeonu *La Nuestra Senora de Almiranta*, który zatonął w czasie sztormu na Karaibach [3, 4]. Dzwony nurkowe o różnych konstrukcjach stosowane są do dnia dzisiejszego, w tym w Marynarce Wojennej RP.

Kolejnym etapem rozwoju techniki nurkowej było zaprojektowanie w 1690 przez angielskiego astronoma Edmunda Halleya drewnianego dzwonu nurkowego, do którego świeże powietrze doprowadzane było rurą z powierzchni wody a powietrze zużyte wyprowadzane na zewnątrz poprzez zastawkę. Konstrukcja umożliwiała przebywanie pod wodą niemal 90 minut [3, 4]. Po kolejnych stu latach udoskonaleń, w 1788 John Smeaton zaprojektował wykonany z żelaza, pierwszy nowoczesny dzwon nurkowy, w którym system rur i zastawek umożliwiał dostarczanie świeżego powietrza i pozbywanie się zużytego. [1].

Początki nowoczesnego nurkowania sięgają 1820 roku, kiedy bracia John i Charles Dean zaprojektowali system składający się z miedzianego hełmu, uszytego ze skóry lub mocnego materiału kombinezonu nurkowego oraz ciężkich butów umożliwiających chodzenie po dnie. Powietrze dostarczane było z powierzchni systemem rur. Zaprojektowany przez braci Dean strój był później wielokrotnie modyfikowany i usprawniany, by stać się znanym powszechnie i nadal używanym kombinezonem dla nurków klasycznych [1, 5].

Aby usprawnić prace w środowisku wodnym, w 1841 roku francuski inżynier, Jules Triger wynalazł kesony – cylindry oparte na dnie, z których woda wypierana była przy pomocy sprężonego powietrza, co umożliwiało robotnikom pracę poniżej lustra wody. Wykorzystywana pierwotnie w kopalniach, metoda ta szybko zaadaptowana została do prac podwodnych przy budowach mostów. [1].

Dotychczas opisane systemy umożliwiające przebywanie pod wodą były oparte na dostarczaniu świeżego powietrza tłoczonego przez miechy czy pompy znajdujące się na powierzchni. W drugiej połowie XIX wieku rozpoczęto prace na stworzeniem niezależnego systemu, który umożliwiałby nurkowi oddychanie pod wodą bez konieczności korzystania z powietrza atmosferycznego dostarczanego z powierzchni. Prace toczyły się dwutorowo – z jednej strony próbowano zaprojektować system, w którym nurek korzystał z powietrza sprężonego w miedzianym cylindrze a zużyte powietrze wydychane było bezpośrednio do wody. W drugim rodzaju aparatów – o systemie zamkniętym - wydychane powietrze przepuszczane było przez pochłaniacz eliminujący dwutlenek węgla. Oczyszczone w ten sposób powietrze, po wzbogaceniu tlenem ponownie wdychane było przez nurka. Z powodu braku niezawodnych, przenośnych i tanich zbiorników do przechowywania powietrza pod wysokim ciśnieniem, aparaty nurkowe z obiegiem zamkniętym były łatwiejsze do stworzenia i szerszego wykorzystania. Pierwszy praktyczny aparat o obiegu zamkniętym został zaprojektowany i zbudowany przez Henry Fleussa w 1878 roku [3, 6]. Prace nad drugim typem aparatów - o obiegu otwartym prowadzono równolegle, ale dopiero w 1943 roku, Émile Gagnan, Frédéric Dumas raz Jacques-Yves Cousteau zaprojektowali pierwszy udany i bezpieczny aparat do nurkowania z otwartym obiegiem, znany jako Aqua-Lung [7].

Obecnie wykorzystywane są wszystkie do tej pory opisane systemy – dzwony nurkowe, kesony, zasilane powietrzem kombinezony nurków klasycznych oraz aparaty do nurkowania o obiegu zamknięty i otwartym. Dzięki postępom naukowym oraz zebranemu doświadczeniu nurkowanie nie jest już sportem ekstremalnym i obecnie jest stosunkowo bezpieczne i dostępne dla niemal każdego. Należy jednak pamiętać o tym, że mimo wszystko wciąż towarzyszy mu ryzyko różnych urazów i schorzeń związanych z nurkowaniem, w tym choroby dekompresyjnej.

2.2 Fizyka nurkowania

Największym problemem, który musieli rozwiązać pierwsi konstruktorzy sprzętu umożliwiającego pobyt pod wodą, było niezawodne dostarczenie nurkowi powietrza. Wraz z rozwojem techniki nurkowej, a tym samym wydłużaniem czasu i głębokości, na której nurkowie przebywali, odkryto, że wiąże się to ze znacznym ryzykiem. Nurkowie i pracownicy kesonów zgłaszali problemy zdrowotne związane z nurkowaniem, zwłaszcza pojawiające się po wynurzeniu lub zakończeniu pracy w kesonie. Często zostawali oni inwalidami a niejednokrotnie w następstwie ekspozycji na wysokie ciśnienia dochodziło do ich śmierci. W środowisku wodnym nurkowie narażeni są na szereg zagrożeń, z których największe znaczenie mają te związane z oddychaniem gazami pod zwiększonym ciśnieniem, schorzenia będące następstwem uwalniania się pęcherzyków gazów z tkanek do naczyń krwionośnych oraz efekt toksyczny gazów pod zwiększonym ciśnieniem [8 – 12]. Środowisko wodnym nie jest naturalne dla człowieka, który przystosowany jest do życia w wąskim zakresie ciśnień atmosfery ziemskiej. Na organizm ludzki cały czas oddziałuje ciśnienie, bez względu na to, czy znajduje się on na powierzchni, czy też jest zanurzony w wodzie. O ile na powierzchni odczuwamy jedynie wpływ ciśnienia atmosferycznego, o tyle po zanurzeniu w wodzie, oprócz ciśnienia atmosferycznego, na organizm człowieka dodatkowo oddziałuje ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez wysokość słupa wody nad nurkiem. Podczas nurkowania wartości ciśnienia hydrostatycznego mogą być nawet kilkadziesiąt razy wyższe od ciśnienia atmosferycznego [9]. By zrozumieć niebezpieczeństwa i zagrożenia występujące w medycynie podwodnej, należy przypomnieć podstawowe prawa fizyczne dotyczące fizjologii nurkowania.

2.2.1 Prawo Boyle'a - Mariotte'a|

Prawo to opisuje zachowanie gazu doskonałego w przemianie izotermicznej - „w stałej temperaturze iloczyn objętości danej masy gazu i ciśnienia jest wielkością stałą". Z prawa tego wynika, że podczas sprężania gazu lub mieszaniny gazowej wzrostowi ciśnienia towarzyszy zmniejszanie jego objętości. W przypadku rozprężania gazu lub mieszaniny gazów ich objętość wzrasta. Prawo to ma duże znaczenie w medycynie nurkowej. Ciało ludzkie ma wiele przestrzeni powietrznych, w których podczas zanurzania objętość gazów zmniejsza się, podczas wynurzania dochodzi natomiast do ich rozprężenie. W przypadku nieodpowiedniego wyrównywania ich objętości w zatokach przynosowych, płucach czy uchu środkowym, ciśnienie wywierane przez gaz na poszczególne tkanki może spowodować ich uszkodzenie – uraz ciśnieniowy – obrażenia ciśnieniowe – „barotraumę". Przykładem może być uraz ciśnieniowy płuc spowodowany rozprężającym się powietrzem podczas wynurzania z zatrzymanym oddechem czy uszkodzenie błony bębenkowej podczas zanurzania przy problemach z wyrównywaniem ciśnienia w uchu środkowym spowodowanych upośledzeniem drożności trąbki Eustachiusza łączącej gardło z uchem środkowym.[9]

2.2.2 Prawo Henry'ego

Bardzo ważnym zagadnieniem w patofizjologii nurkowania jest opisane w prawie Henry'ego rozpuszczanie się gazów w płynach i tkankach organizmu. Według tego prawa stężenie rozpuszczonego w płynie gazu jest wprost proporcjonalne do ciśnienia wywieranego na płyn przez ten gaz. W praktyce, wraz ze wzrostem ciśnienia wywieranego przez słup wody na nurka podczas zanurzania, wzrasta ciśnienia gazów znajdujących się w organizmie a tym samym zwiększa się ilość gazu rozpuszczonego w płynach organizmu. Podczas wynurzania zachodzi odwrotna prawidłowość – podczas spadku ciśnienia wywieranego na nurka, z nasyconych

gazem obojętnym tkanek uwalnia się frakcja gazowa w postaci pęcherzyków. W przypadku szybkiego, czy niekontrolowanego wynurzania, uwalniające się w dużej ilości pęcherzyki gazu krążą w organizmie leżąc u podłoża choroby dekompresyjnej. Obrazowo, podobny efekt pojawia się podczas szybkiego odkręcenia butelki z gazowanym płynem, gdzie uwalniające się gwałtownie pęcherzyki dwutlenku węgla powodują spienienie zawartości i wypychają płyn z butelki [9]

2.2.3 Prawo Nernsta

Omówione w poprzednim punkcie prawo Henry'ego dotyczy rozpuszczana się gazów w płynach, takich jak krew. Reguły dotyczące rozpuszczania się gazu w dwóch niemieszających się ze sobą substancjach opisuje natomiast prawo podziału Nernsta. Zgodnie z nim, rozpuszczona w dwóch niemieszających się ze sobą rozpuszczalnikach substancja (gaz) dzieli się między nie w taki sposób, że po ustaleniu stanu równowagi, w określonej temperaturze stosunek stężeń gazu rozpuszczonego w tych dwóch substancjach jest wartością stałą.
W medycynie nurkowej największe znaczenie ma stosunek rozpuszczania się gazów pomiędzy bogatymi w lipidy tkankami organizmu (szczególnie układem nerwowym ale i tkanką tłuszczową) a znajdującą się we krwi wodą. Większość z gazów składających się na mieszaninę oddechową, w warunkach atmosferycznych nie wywiera działania narkotycznego. Pod zwiększonym ciśnieniem natomiast, większość z nich wywiera działanie narkotyczne poprzez zaburzenie przekazywanie impulsów w szczelinach synaptyczych neuronów kory mózgu i tworu siatkowatego. Potencjał narkotyczny gazów obojętnych jest tym wyższy, im wyższy jest współczynnik rozpuszczania w lipidach w porównaniu do wody. Dla każdego gazu będącego składową mieszaniny oddechowej jest on inny – największy dla Ksenonu -20, Kryptonu - 9,6, Argonu - 5,3 Azotu - 5,2, podczas gdy dla Helu tylko 1,7. Biorąc pod uwagę powyższy współczynnik, teoretycznie największy potencjał narkotyczny spośród gazów obojętnych mają Ksenon i Krypton. Ze względu na to, że w mieszaninie oddechowej występują one w śladowych ilościach, największe znaczenie w wywoływaniu narkozy gazów obojętnych ma azot, jako główny, stanowiący 78%, składnik mieszaniny oddechowej. [9]

2.2.4 Prawo Daltona

Prawo Daltona opisuje zachowanie się poszczególnych gazów w ich mieszaninie - według tego prawa ciśnienie wywierane przez każdy gaz jest niezależne od ciśnień parcjalnych innych gazów znajdujących się w mieszaninie. Ciśnienie mieszaniny gazów jest natomiast sumą ciśnień, jakie wywierałyby poszczególne składniki gazu gdyby były same w danej objętości. Przykładowo, na ciśnienie powietrza składają się ciśnienia parcjalne poszczególnych jego składowych – azotu, tlenu, dwutlenku węgla oraz innych obecnych w powietrzu gazów. Podczas nurkowania, wraz ze wzrostem głębokości rosną proporcjonalnie ciśnienia parcjalne wszystkich gazów znajdujących się w mieszaninie oddechowe. Odwrotny proces zachodzi natomiast podczas wynurzania [9]

2.2.5 Prawo Grahama

Zagadnienia dotyczące nasycania i eliminacji gazów z tkanek organizmu opisuje prawo Grahama. Według niego szybkość rozpuszczania się (dyfuzji) oraz uwalniania z tkanek organizmu (efuzji) jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego masy atomowej gazu. Oznacza to, że im cięższy jest gaz, tym wolniej dyfunduje do tkanek i z nich się uwalnia. [9]

2.3 Fizjologia oddychania

W celu prawidłowego funkcjonowania, każda komórka organizmu musi otrzymać odpowiednią dawkę energii, do której wytworzenia niezbędny jest tlen pobierany z powietrza podczas oddychania. Dostarczanie tlenu do tkanek zachodzi przy udziale dwóch układów zarządzanych przez znajdujące się w pniu mózgu ośrodki krążenia i oddychania:

- układu oddechowego - "wymiennika gazowego", zapewniającego wymianę tlenu i CO_2 pomiędzy organizmem a atmosferą
- układu krążenia - "transportera", rozprowadzającego tlen pobrany z płuc, za pośrednictwem krwi do wszystkich tkanek ciała oraz odprowadzającego CO_2 z tkanek do płuc.

Proces oddychania obejmuje następujące fazy:

- dostarczanie do płuc świeżego powietrza w procesie oddychania
- wymiana gazowa przebiegająca w pęcherzykach płucnych, między ścianą pęcherzyka a oplatającymi ją naczyniami włosowatymi
- transport tlenu wraz z krwią tętniczą do wszystkich tkanek organizmu,
- wymiana gazowa między krwią a tkankami organizmu
- wytwarzanie energii w komórkach w wykorzystujących tlen reakcjach
- usuwanie dwutlenku węgla z komórek i jego wydalanie do atmosfery.

2.3.1 Układ oddechowy

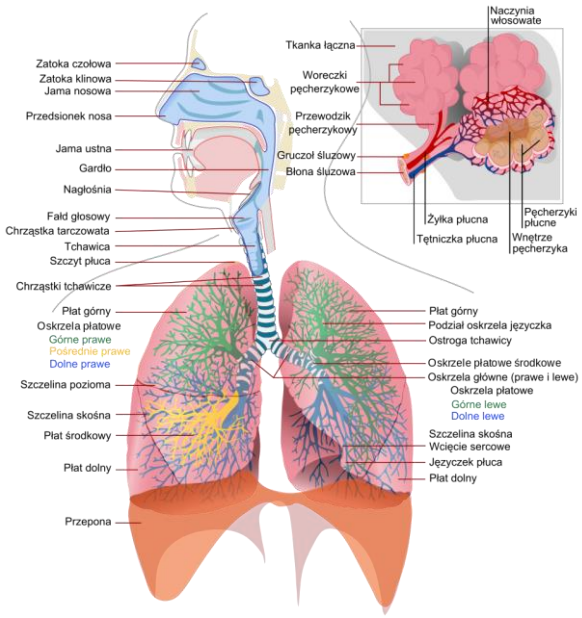
Na układ oddechowy składają się górne i dolne drogi oddechowe. Górne drogi oddechowe dzielą się na jamę nosowo-gardłową z zatokami przynosowymi, jamę ustna i krtań. Dolny układ oddechowy obejmuje tchawicę, oskrzela i płuca. Wchodzące do miąższu płucnego oskrzela główne kilkakrotnie dzielą się i przechodzą w pęcherzyki płucne, które oplecione są naczyniami włosowatymi. Na poziomie pęcherzyków płucnych zachodzi wymiana gazowa – opływająca je krew żylna ulega natlenowaniu w kontakcie ze znajdującym się w pęcherzyku powietrzem i jako krew tętnicza dystrybuowana jest do wszystkich tkanek organizmu [13-14]. (Rys.1)

2.3.2 Układ krążenia

Odtlenowana krew żylna tłoczona jest przez prawą komorę serca tętnicami płucnymi do krążenia płucnego, gdzie w pęcherzykach płucnych odbywa się wymiana gazowa. Po natlenowaniu krew wraca żyłami płucnymi do lewego serca – wpływa do lewego przedsionka a następnie do lewej komory, skąd jako krew tętnicza tłoczona jest tętnicami krążenia dużego (systemowego) do mikrokrążenia całego organizmu. Żyły odbierające odtlenowaną krew z mikrokrążenia łączą się w coraz większe, tworząc ostatecznie dwie żyły główne – górną i dolną – którymi krew żylna powraca poprzez prawy przedsionek do prawej komory serca [14-15] (Rys.2). Fizjologicznie krew żylna nie miesza się z krwią tętniczą. Przepływając przez płuca, nie tylko jest natlenowywana, ale również filtrowana na poziomie mikrokrążenia płucnego. Dzięki temu powstające w naczyniach żylnych mikrozatory i mikrozakrzepy czy pęcherzyki powietrza nie przedostają się do krążenia systemowego.

Ryc. 1

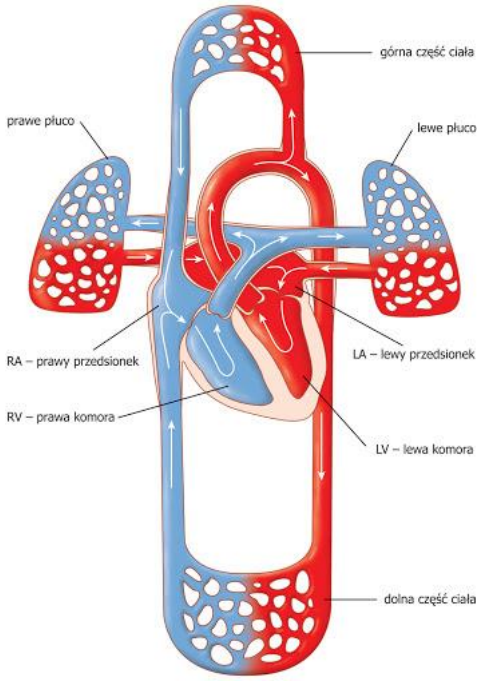
Układ oddechowy



https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Respiratory_system_complete_pl.svg. Pobrano 07.11.2020

Rys.2

Układ krążenia



http://www.wada-serca.pl/dorosli/serce2/uklad-krazenia-2/ Pobrano dn. 7.11.2020

2.4 Choroba dekompresyjna

Występująca u nurków choroba dekompresyjna (Decompression Sickness – DCS) jest następstwem pojawiania się wewnątrz – lub zewnątrznaczyniowo pęcherzyków gazu, które zgodnie z prawami Nernsta i Henry'ego formują się w tkankach organizmu w następstwie zmniejszana ciśnienia wywieranego na nurka podczas wynurzania (dekompresji) [9,12].

Choroba dekompresyjna jest przykładem patologii wynikającej z narażenia organizmu na zmiany otaczającego ciśnienia. Schorzenie to rozwija się u ludzi, którzy po okresie przebywania w środowisku o podwyższonym ciśnieniu odczuwają skutki jego stosunkowo szybkiego lub niekontrolowanego obniżenia. Obecnie wyróżnia się trzy jej odmiany, częściowo różniące się symptomatologią :

- choroba dekompresyjna nurków
- choroba kesonowa pracowników kesonów
- choroba dekompresyjna lotników [9]

Pierwsze przypadki choroby dekompresyjnej, wówczas określanej jako kesonowej, u dwóch pracowników kesonów opisał wynalazca kesonu, Jules Triger w 1845 roku. Obaj pracownicy zgłaszali ostre bóle dużych stawów, które pojawiły się po opuszczeniu kesonu, gdzie przez kilka godzin pracowali fizycznie pod zwiększonym ciśnieniem. W kolejnych latach opisywano przypadki utraty przytomności, niedowładów kończyn, napadów drgawkowych oraz zgonów, które dotykały pracowników kesonów. 1847 roku Pol i Watelle, francuscy inżynierowie nadzorujący prace podwodne zaobserwowali, że istnieje korelacja między głębokością, czasem ekspozycji na podwyższone ciśnienie i szybkością dekompresji a nasileniem objawów choroby. Jako pierwsi opisali również przypadek ustąpienia objawów choroby kesonowej u jednego z nurków po poddaniu go ponownie podwyższonemu ciśnieniu w kesonie [1]

U podłoża choroby dekompresyjnej leży niekontrolowane uwalnianie się pęcherzyków gazu obojętnego (głównie azotu) z płynów ustrojowych oraz tkanek nurka podczas wynurzania czy obniżania ciśnienia w habitacie hiperbarycznym.. Zgodnie z prawami Nernsta i Henry'ego, wraz z zanurzaniem, a tym samym wzrostem ciśnienia parcjalnego gazów wchodzących w skład mieszaniny oddechowej, proporcjonalnie rośnie stężenie gazów rozpuszczonych w tkankach i płynach nurka. Odwrotna sytuacja zachodzi podczas wynurzania, kiedy wraz ze zmniejszaniem ciśnienia wywieranego na nurka przez słup wody, zmniejsza się stężenie rozpuszczonych w tkankach gazów, które uwalniają się w postaci pęcherzyków transportowanych wraz z krwią żylną do płuc a następnie wydalanych w obrębie pęcherzyków płucnych. Ilość rozpuszczonego gazu jest zależna od głębokości i czasu nurkowania. W przypadku niekontrolowanego wynurzania ilość powstających pęcherzyków wewnątrz- i zewnątrznaczyniowo może być na tyle duża, że nie będzie możliwe ich bezpieczne usunięcie z organizmu [9-12].

2.4.1 Miejsce powstawania pęcherzyków gazowych:

1. Pęcherzyki pozanaczyniowe powstawać mogą w płynie śródmiąższowym oraz komórkach, najczęściej tkanki tłuszczowej.
2. Pęcherzyki wewnątrznaczyniowe powstają przede wszystkim w układzie żylnym, w najcięższych przypadkach prowadząc do gazowej zatorowości płucnej. W przypadku przecieku żylno - tętniczego (PFO, przeciek w krążeniu płucnym), część pęcherzyków

z krwi żylnej może przedostać się do krwi tętniczej i w następstwie prowadzić do patologii w obrębie układu nerwowego, znacznie rzadziej serca oraz układu przedsionkowego [10]

2.4.2 Postacie choroby ciśnieniowej

W czasie dekompresji pęcherzyki powietrza mogą formować się w różnych tkankach organizmu i wędrować wraz z krwią do wszystkich narządów i układów ciała, stąd choroba ciśnieniowa przybierać może różne postaci i dawać różnorakie objawy – od łagodnych bólów stawów i mięśni czy świądu skóry do ciężkich postaci, które zakończyć się mogą zgonem nurka. Ze względu na objawy ze strony poszczególnych narządów i układów, chorobę ciśnieniową można podzielić na cztery typy [9]:

- Choroba ciśnieniowa typu I (postać lekka)
  – najczęstsza, z bólami mięśni i stawów oraz objawami ze strony skóry
- Choroba ciśnieniowa typu II (postać ciężka)
  – objawy ze strony układu krążenia, płuc oraz układu nerwowego
- Choroba ciśnieniowa typu III
  – postać przedsionkowa z układowymi zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi
- Choroba ciśnieniowa typu IV
  – postać przewlekła, w tym jałowa martwica kości

2.4.3 Objawy choroby ciśnieniowej

Ponieważ pęcherzyki gazu mogą tworzyć się w każdej tkance organizmu, manifestacje choroby ciśnieniowej są zróżnicowane i zależą od zajętego układu czy narządu: [9,12, 16-23]

1. Objawy mięśniowo – stawowe

   Jednym z pierwszych i najczęstszych objawów choroby dekompresyjnej są ostre bóle dużych stawów (głownie barkowych, łokciowych, kolanowych oraz skokowych). Dolegliwości wynikają z obecności pęcherzyków tworzących się w obrębie mazi stawowej oraz tkankach okołostawowych. Pęcherzyki pojawiające się w okolicy głów kości długich prowadzić mogą również do odwarstwienia okostnej.

2. Objawy ogólnoustrojowe

   Na tę postać choroby dekompresyjnej składa się złe samopoczucie, ospałość, ogólne osłabienie, bóle głowy, wrażenie rozbicia oraz zmęczenia z towarzyszącymi niecharakterystycznymi bólami mięśni (*fatigue).*

3. Objawy skórne

   Najczęstszymi dolegliwościami skórnymi jest świąd w obrębie kończyn górnych i dolnych, czasami połączony z ich zaczerwienieniem i obecnością skóry marmurkowatej na tułowiu i kończynach. Do niedawna uważano, że jest następstwo tworzenia się pęcherzyków gazu w skórze i tkance podskórnej. Ostatnie doniesienia postulują, że w powyższej patologii znaczenie może mieć również obecność przecieku żylno tętniczego poprzez PFO. W jego następstwie krążące we krwi tętniczej pęcherzyki powietrza miałyby inicjować w pniu mózgu uwalnianie neuropeptydów,

prowadzące do związanej z pobudzeniem układu współczulnego reakcji naczynioruchowej w obrębie skóry.

4. Następstwa neurologiczne

   Powikłania ze strony układu nerwowego wynikać mogą z kilku mechanizmów:
   - Udarów żylnych rdzenia kręgowego związanych z gromadzeniem się w żyłach rdzenia pęcherzyków gazu.
   - Uwalnianiem się pęcherzyków gazu bezpośrednio do tkanki nerwowej z bogatych w lipidy tkanek rdzenia i mózgowia.
   - W przypadku zatorowości płucnej, zwiększenie ciśnienia w klatce piersiowej może prowadzić do upośledzenie powrotu żylnego z narządów klatki piersiowej, w tym do zastoju żylnego w rdzeniu piersiowym
   - Będące następstwem uszkodzeniem rdzenia kręgowego dolegliwości obejmują niedowład kończyn dolnych, niedowłady połowicze, zaburzenia czucia na tułowiu i kończynach oraz zaburzenia funkcji zwieraczy pęcherza moczowego i odbytnicy.
   - W przypadku przecieku żylno - tętniczego (PFO, połączenia żylno – tętnicze w płucach) krążące we krwi tętniczej pęcherzyki powietrza prowadzić mogą do ciężkiej, neurologicznej postaci choroby dekompresyjnej, związanej z zatorami gazowymi tętnic mózgowia i rdzenia kręgowego. W ich następstwie rozwijają się zaburzenia czucia, niedowłady kończyn, zaburzenia świadomości, napady padaczkowe. W niekorzystnych okolicznościach dojść może do zgonu.

5. Dysfunkcja układu przedsionkowego

   Jednym z objawów choroby dekompresyjnej mogą być szumy uszne, niedosłuch, układowe zawroty głowy, zaburzenia równowagi oraz wymioty. Objawy te wynikać mogą ze spienienia perylimfy w uchu wewnętrznym w czasie dekompresji. Objawy przedsionkowe mogą być również następstwem zatorów tętnic w obrębie układu przedsionkowego pęcherzykami powietrza, które przedostały się z układu żylnego do systemowego na poziomie serca lub płuc.

6. Postać płucna

   Najrzadziej spotykanym następstwem krążenia pęcherzyków powietrza w układzie żylnym jest gazowa zatorowość płucna z objawami nasilającej się duszności, suchym kaszlem i bólami w klatce piersiowej. Jest to najcięższa, obarczona największą śmiertelnością postać choroby dekompresyjne -przy zamknięciu światła 75% naczyń płucnych dochodzi do śmierci.

2.5 Przetrwały otwór owalny

2.5.1 PFO – częstość występowania

Przetrwały otwór owalny (PFO) jest występującym u około 25% dorosłej populacji wariantem anatomicznym polegającym na utrzymywaniu się połączenia między prawym i lewym

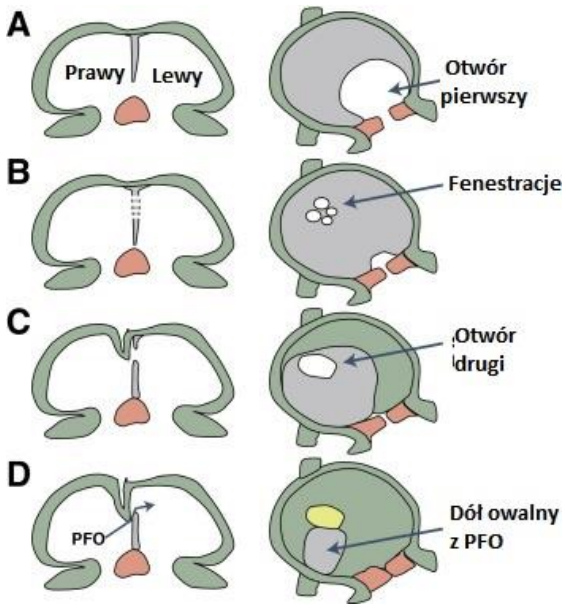
przedsionkiem serca. Odsetek wykrywanych otworów owalnych znacznie różni się w zależności od wykorzystanej metody. Przy pomocy echokardiografii przezklatkowej PFO wykrywa się średnio w 14,7% badań, przy wykorzystaniu echokardiografii przezprzełykowej wariant ten stwierdza się 23,7% badań, w materiale sekcyjnym PFO wykrywano w 27,3% do 29% sekcji a najwięcej otworów owalnych - do 31,3% wykazywano przy pomocy kontrastowego Dopplera przezczaszkowego (cTCD) [24 - 26].

2.5.2 Embriologia otworu owalnego

Embriogeneza układu sercowo-naczyniowego jest procesem skomplikowanym i przebiegającym wieloetapowo. Parzyste zarodki serca powstają w 4 tygodniu życia płodowego, początkowo niezróżnicowane populacje komórek pól sercowych oraz grzebieni nerwowych ewoluują w kierunku pierwotnej cewy sercowej, która w wyniku zapętlania przyjmuje postać ostatecznie uformowanego serca. Pierwotnie serce składa z jednego przedsionka i jednej komory, które następnie ulegają podziałowi. W procesie podziału przedsionka, w pierwszej kolejności z fałdów wsierdzia w górnej części przedsionka, rozwija się przegroda pierwotna (na schemacie w kolorze szarym), która w dolnej części tworzy otwór pierwszy (ostium primum) umożliwiający przepływ krwi z prawego do lewego przedsionka (A). W dalszym etapie organogenezy otwór pierwszy zanika, w górnej części przegrody pierwotnej powstaje natomiast otwór drugi (ostium secundum - B,C) umożliwiający u płodu przepływ krwi z prawego do lewego przedsionka. Rozwijająca się ze stropu przedsionków przegroda wtórna (na schemacie w kolorze zielonym), stopniowo pokrywa przegrodę pierwotną (za wyjątkiem obszaru w jej dolnej części, zwanego dołem owalnym) oraz zasłania otwór wtórny. Obie przegrody stopniowo zrastają się ze sobą a po zakończeniu rozwoju serca przegroda pierwotna zasłania otwór drugi jako jego zastawka (D) [27 - 30] (Rys. 3)

Rys.3

Rozwój przegrody międzyprzedsionkowej



Schemat zaadaptowany z https://www.jacc.org/doi/full/10.1016/j.jcmg.2010.01.007 [27]

2.5.3 Inne nieprawidłowości budowy przegrody międzyprzedsionkowej.

- Kieszonka przedsionka

  W przypadku niepełnego zrośnięcia się przegrody pierwszej i wtórnej, w obrębie przegrody międzyprzedsionkowej po stronie lewego przedsionka powstaje wykrywana w 60% autopsji ślepo zakończona kieszonka. Chociaż może w niej powstać skrzeplina wywołana zwolnieniem przepływu krwi, to znaczenie kieszonki przedsionka w powstawaniu zatorów jest niepewne [31]

- Ubytek przegrody międzyprzedsionkowej

  Inną grupą strukturalnych wad przedsionków serca są ubytki przegrody międzyprzedsionkowej (atrial septal defect, ASD), którą są następstwem opisanego wyżej procesu podziału prymitywnego przedsionka serca. Najczęściej spotykany jest ubytek przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu wtórnego (ostium secundum ASD), w którym obecne jest połączenie obu przedsionków serca w miejscu otworu owalnego. W przeciwieństwie do PFO, ubytek przegrody międzyprzedsionkowej jest uważany jako poważną wadę, która wymaga specjalistycznego leczenia. Obecnie przezskórne zamknięcie jest metodą z wyboru w leczeniu pacjentów z ASD [32].

- Tętniak przegrody międzyprzedsionkowej

  Tętniak przegrody międzyprzedsionkowej (atrial septal aneurysm - ASA) jest jej wrodzonym zniekształceniem, zlokalizowanym najczęściej w obrębie dołu owalnego. Jego istotą jest nadmierna ruchomość i wpuklanie się tej przegrody do światła prawego lub lewego przedsionka. Wada ta spowodowana jest nadmiarem cienkiej (będącej pozostałością przegrody pierwotnej) i przez to ruchomej tkanki w okolicy dołu owalnego. Obecność tętniaka przegrody międzyprzedsionkowej wiąże się ze współistnieniem innych nieprawidłowości budowy serca, najczęściej z PFO, przy czym wykazano zależność między ASA a wielkością przecieku wewnątrzsercowego [33]

- Zastawka Eustachiusza

  Znajdująca się w prawym przedsionku zastawka Eustachiusza w życiu płodowym kieruje krew z żyły głównej dolnej do otworu owalnego i do lewego przedsionka. Chociaż po urodzeniu powinna zaniknąć, może przetrwać do wieku dorosłego. U dorosłych, w następstwie jej współistnienia z ubytkiem przegrody przedsionkowej dochodzi do przecieku prawo-lewo. Zastawka Eustachiusza występuje częściej u osób z PFO i tętniakiem przegrody międzyprzedsionkowej i może być czynnikiem sprzyjającym nawracającym incydentom zatorowym mózgu [33].

2.5.4 Znaczenie PFO w życiu płodowym.

U płodu otwór owalny ma olbrzymie znaczenie, umożliwiając wraz z przewodem Botalla przepływ krwi utlenowanej z prawego do lewego serca, omijając nie funkcjonujące w życiu płodowym płuca. Utlenowana krew z łożyska matki wpływa do prawego przedsionka przez żyłę główną dolną, znajdująca się w prawym przedsionku zastawka Eustachiusza (zastawka żyły głównej dolnej) kieruje prąd krwi w kierunku otworu owalnego, przez który przedostaje się do lewego serca, skąd jako krew tętnicza dopływa do wszystkich tkanek organizmu. Po porodzie

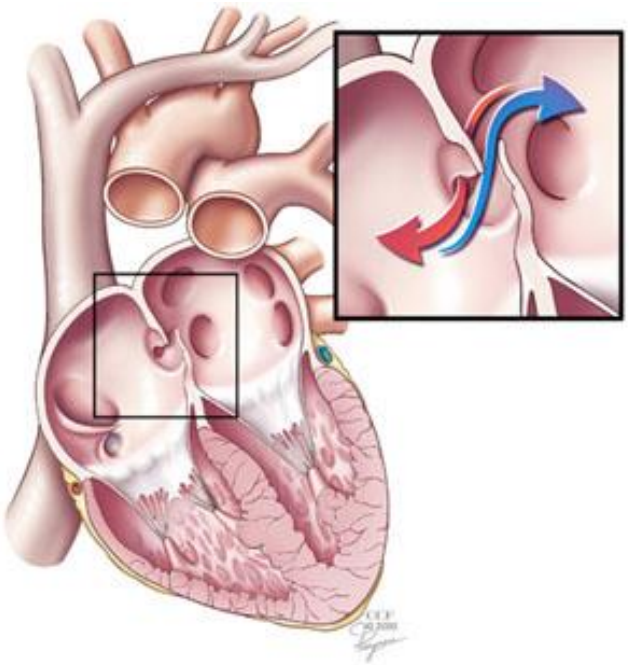
spada opór w naczyniach płucnych oraz ciśnienie w prawym przedsionku serca, ze wzrostem gradientu ciśnień na korzyść lewego przedsionka. W następstwie tego znajdująca się po lewej stronie przegrody międzyprzedsionkowej zastawka (przegroda wtórna) zamyka otwór drugi. Przy zaburzeniu tego procesu, w ścianie międzyprzedsionkowej pozostaje skośnie położona szczelina, od strony lewego przedsionka częściowa zasłonięta rąbkiem tkanki łącznej tworzącym rodzaj zastawki [29].

2.5.5 Symptomatologia PFO w życiu dorosłym

W związku z wyższym ciśnieniem utrzymującym się w lewym przedsionku, przetrwały otwór owalny w zdecydowanej większości przypadków nie ma żadnego znaczenia klinicznego. W pewnych sytuacjach związanych z fizjologicznym zwiększeniem ciśnienia w prawym przedsionku (kaszel, kichanie, tłocznia brzuszna, poród, dźwiganie ciężarów) może dojść do jego otwarcia i wystąpienia krótkotrwałego przecieku krwi żylnej z prawego do lewego przedsionka, którego następstwem może być zatorowość paradoksalna [29-34] (Rys. 4). Wśród innych procesów patofizjologicznych związanych z obecnością PFO można wyszczególnić tworzenie się skrzepliny w jego kanale [35, 36], zaburzenia funkcji lewego przedsionka [37] czy arytmie przedsionkowe [38].

Rys. 4.

Mieszanie się krwi żylnej z tętniczą poprzez PFO



https://my.clevelandclinic.org/-/scassets/images/org/health/articles/patent-foramen-ovale-02-heart-pfo-combo.ashx. Pobrano 7.11.2020

W pewnych stanach chorobowych z towarzyszącym wzrostem ciśnienia w prawym przedsionku, takich jak nadciśnienie płucne, POChP czy zespół platypnea-orthodeksja, rozwinąć się może stały przeciek żylno - tętniczy, sporadycznie prowadząc do uogólnionej hipoksemii [39, 40].

W wielu pracach poświęconych patologii związanej z obecnością drożnego otworu owalnego sugeruje się jego związek z migreną z aurą [41-44]. Za taką możliwością przemawia częstsze występowanie przetrwałego otworu owalnego u pacjentów cierpiących na migrenę z aurą w porównaniu z grupą kontrolną oraz częstsze niż w statystycznej populacji występowanie migreny z aurą u chorych ze stwierdzonym PFO. W badaniu Domitrz i Kwiecińskiego PFO występowało u 53% pacjentów z migreną z aurą w porównaniu do 25% u chorych z migreną bez aury i 25% w grupie kontrolnej [45]. Nie bez znaczenia są również próby zamykania otworu owalnego u chorych z migreną z aurą i współistniejącym PFO przy pomocy okludera. W wyniku takiego postępowania Ben-Assa ze współpracownikami osiągnęli długoterminową redukcję bólu głowy o ponad 50% u 87% chorych, a całkowite ustąpienie bólu u 48% [46].

Jednym z poważniejszych następstw przecieku żylno – tętniczego jest zatorowość paradoksalna, gdy powstający w układzie żylnym materiał zatorowy przedostaje się przez przetrwały otwór owalny do tętnic wywołując, między innymi, udary niedokrwienne mózgu czy, w przypadku nurków, prowadząc do ciężkiej choroby dekompresyjnej z objawami mózgowymi czy płucnymi [29]. Pierwszy przypadek śmiertelnego zatoru tętnicy środkowej mózgu materiałem pochodzącym w układu żylnego opisał w 1877 Julius Cohnheim, a trzy lata później Moritz Litten udokumentował żylnopochodny zator tętnicy kończyny dolnej [47].

Następstwa zatorowości paradoksalnej:

- Udary niedokrwienne mózgu

  Pomimo bardzo dokładnej diagnostyki, w niemal 25% przypadków udarów niedokrwiennych mózgu, zwłaszcza w wieku młodszym (poniżej 55 roku życia), ich etiologia pozostaje nieznana. Wyniki badań sugerują, że duża część tych udarów, zwanych dotychczas kryptogennymi, ma podłoże zatorowe. W 2014 roku wyodrębniono z tej grupy nową podjednostkę – udar mózgu o nieznanym źródle materiału zatorowego (embolic stroke of undetermined source – ESUS) Wśród wielu czynników, które mogą przyczyniać się do zatorowości mózgowej, wymieniono również przetrwały otwór owalny [48]. Uważa się, że wśród wszystkich chorych z kryptogennym udarem niedokrwiennym mózgu, PFO występuje u 40% do 50% pacjentów [49, 50]. W analizie oceniającej względne ryzyko wystąpienia udaru niedokrwiennego mózgu w pierwszym roku po przebytej zakrzepicy żył głębokich lub zatorowości płucnej u chorych z PFO, w porównaniu do chorych, u których nie współistniało PFO, ryzyko było wyższe odpowiednio 2,2 razy i 2,9 razy [51].

- Choroba dekompresyjna

  W czasie każdego nurkowania, a zwłaszcza w przypadku wystąpienia choroby dekompresyjnej, we krwi żylnej nurka krążą pęcherzyki o składzie podobnym do mieszaniny oddechowej. [9,10,12]. W przypadku wzrostu ciśnienia w klatce piersiowej w trakcie pobytu pod wodą (prace podwodne, manewr Valsalvy) albo po nurkowaniu (dźwiganie sprzętu nurkowego, kichanie, wciąganie się na brzuchu na pokład pontonu lub łodzi), pęcherzyki gazu mogą przedostawać się poprzez otwór owalny do krążenia systemowego. W następstwie gazowych zatorów tętniczych rozwinąć się może ciężka choroba dekompresyjna z objawami neurologicznymi lub objawami przedsionkowymi. Krążące w układzie tętniczym pęcherzyki prowadzić mogą również do pojawienia się

łagodnych, nieistotnych klinicznie objawów, takich jak świąd skóry czy skóra marmurkowata, które mogą jednak poprzedzać ciężkie postacie choroby dekompresyjnej [9,10,12,17-22,52-58] .

- Subkliniczne uszkodzenie istoty białej mózgu.

  Oprócz opisanych wyżej ostrych następstw przecieku żylno-tętniczego, nie można wykluczyć, że w przebiegu powtarzających się epizodów kompresji - dekompresji podczas nurkowania ze współistnieniem PFO, dochodzić może do widocznego w skanach MRI mózgowia nurków subklinicznego uszkodzenia istoty białej mózgu (nawet przy braku epizodów choroby dekompresyjnej w wywiadzie). Chociaż część autorów neguje taką zależność [59,60], to w innych pracach korelacje pomiędzy nurkowaniem, współistnieniem PFO z przeciekiem żylno-tętniczym oraz obecnością zmian hiperintensywnych w istocie białej mózgu są postulowane [61-66].

2.6 Sposoby detekcji PFO

2.6.1 Echokardiografia przezprzełykowa (TEE)

Kontrastowa echokardiografia przezprzełykowa (cTEE) umożliwia dokładne zobrazowanie struktur mięśnia sercowego, w tym przegrody przedsionkowej. Dożylne podanie kontrastu może również pomóc w detekcji przecieku prawo – lewo poprzez przetrwały otwór owalny. Wprowadzenie sondy echokardiograficznej do przełyku pozwala wyeliminować artefakty związane z tuszą pacjenta czy obecnością struktur kostnych klatki piersiowej (mostek i żebra), które napotkać można w czasie wykonywania echokardiografii przezklatkowej. Dzięki temu badanie to cechuje się bardzo wysoką czułością i specyficznością w wykrywaniu PFO [67-70]. Wadą TEE jest związany z wprowadzeniem sondy do przełyku znaczny dyskomfort dla badanego, TEE obarczone jest również ryzykiem potencjalnie niebezpiecznych powikłań. Poważne powikłania będące następstwem TEE występują bardzo rzadko (0,2–0,6%) i obejmują: kurcz przełyku, perforację przełyku z zapaleniem śródpiersia, uszkodzenie strun głosowych, masywne krwawienie z guza przełyku, zaburzenia rytmu serca aż do zatrzymania krążenia włącznie oraz zgon (mniej niż 0,01%) [71, 72]. Należy również zaznaczyć, że część przecieków żylno – tętniczych, zwłaszcza niewielkich, może być przeoczonych w TEE z powodu trudności z wykonaniem przez pacjenta w trakcie badania próby Valsalvy [24,70,73].

2.6.2 Echokardiografia przezklatkowa (TTE)

Echokardiografia przezklatkowa z podawanym dożylnie kontrastem jest wykonywana w wielu ośrodkach we wstępnej diagnostyce przesiewowej serca. Badanie to jest łatwo dostępne, stosunkowo tanie oraz nieinwazyjne. Mimo sięgającej 99% specyficzności w wykrywaniu przecieku, ograniczeniem metody jest bardzo jej niska czułość (46%-88%) [24,74,75].

2.6.3 Dopplerowska ultrasonografia przezczaszkowa z kontrastem (cTCD)

Alternatywą do echokardiografii, zarówno przezklatkowej jak i przezprzełykowej, jest opisana w 1982 przez Aaslida dopplerowska ultrasonografia przezczaszkowa z kontrastem („ślepy doppler", Transcranial Doppler – TCD) [76]. Dzięki opisanemu w 2000 roku standardowi wykrywania przecieku żylno tętniczego przy pomocy sonografii dopplerowskiej [77], uzyskano wzrost czułości i specyficzności metody, która z czasem stała się porównywalną, a w niektórych

sytuacjach przewyższającą echokardiografię przezprzełykową w przesiewowej diagnostyce PFO [24, 75, 78]. Ponieważ TCD wykrywa jedynie obecność przecieku żylno - tętniczego, na jego podstawie nie jest możliwe jednoznaczne określenie jego lokalizacji, badanie to nie przynosi również informacji na temat morfologii przegrody międzyprzedsionkowej i obecności dodatkowych anomalii (np. tętniaka przegrody międzyprzedsionkowej). W przypadku dodatniego wyniku badania cTCD, ewentualną obecność PFO należy zweryfikować kontrastowym badaniem echokardiograficznym (optymalnie TEE) [24, 75, 79].

2.7 Wymogi dotyczące diagnostyki w kierunku PFO w przepisach regulujących zdolność do nurkowania w Polsce.

2.7.1 Nurkowie zawodowi

Obecnie obowiązujące w Polsce przepisy regulujące zdolność do nurkowania u nurków zawodowych opierają się na Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych do wykonywania prac podwodnych (Dz.U. 2007 nr 199 poz. 1440) [80] z późniejszymi nowelizacjami - Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 lutego 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych (Dz.U. 2011. Nr 40, poz. 211)[81] oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 października 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych (Dz.U. 2019, poz. 2027) [82]. Powyższe rozporządzenia nie narzucają konieczności wykonania diagnostyki w kierunku PFO a wśród wymaganych przez rozporządzenie badań dodatkowych niezbędnych do przeprowadzenia badań wstępnych i okresowych u nurków nie jest wymienione badanie ECHO serca. W załączniku nr 3 do powyższego rozporządzenia, dotyczącym warunków zdrowotnych, jakim powinien odpowiadać nurek, w pkt 3 zaleca się jedynie, by w przypadku stwierdzenia odchyleń w badaniu klinicznym i czynnościowym, zwłaszcza wskazujących na przeciek prawo-lewo, kierować nurka na badania specjalistyczne..

2.7.2 Nurkowie podlegli Ministrowi Spraw Wewnętrznych i Administracji

Zdolność fizyczną i psychiczną kandydatów oraz funkcjonariuszy Policji, Służby Ochrony Państwa, Straży Granicznej, Służby Więziennej oraz Państwowej Straży Pożarnej oceniają Komisje lekarskie podległe Ministrowi Spraw w oparciu o Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 9 lipca 1991. Rozporządzenie to nie normuje zagadnień związanych z nurkowaniem. Organizację nurkowania i wymogi zdrowotne stawiane nurkom z Policji czy Straży Pożarnej normuje Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 25 maja 2004 r. w sprawie wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez ministra właściwego do spraw wewnętrznych (Dz.U. 2004 nr 138 poz. 1468)[83]. Według tego rozporządzenia kwalifikacje nurka może uzyskać osoba, która posiada ważne zaświadczenie lekarskie wydane przez ośrodki medycyny pracy według zasad określonych w przepisach o warunkach zdrowotnych, jakim powinien odpowiadać nurek. W MSWiA określone są jedynie kwalifikacje lekarza mogącego orzekać o zdolności do nurkowania funkcjonariuszy a także umocowanie instytucjonalne. Jest to określone w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych z 5 stycznia 2012 w sprawie służby medycyny pracy (Dz.U. 2012 poz. 53). Od momentu uchwalenia Ustawy o wykonywaniu prac podwodnych w 2007 roku i kolejnych jej nowelizacji, Ministerstwo Spraw Wewnętrznych nie wykonało delegacji ustawowej nakazującej Ministrowi właściwemu dla spraw wewnętrznych i Ministrowi właściwemu dla spraw obrony stworzenie przepisów dotyczących zasad kwalifikacji zdrowotnej i ogłoszenia ich w drodze rozporządzenia. Stąd nurkowie –

funkcjonariusze MSWiA orzekani są w zróżnicowany sposób, często przez lekarzy nieuprawnionych oraz na podstawie nieprzystających do warunków ich służby kryteriów zdrowotnych.

2.7.3 Nurkowie z jednostek podległych Ministrowi Obrony Narodowej

Praktyka orzekania zdolności do służby wojskowej jako nurek i płetwonurek oparta jest na Rozporządzeniu Ministra Obrony Narodowej z dnia 24 stycznia 2018r.w sprawie orzekania o zdolności do czynnej służby wojskowej oraz trybu postępowania wojskowych komisji lekarskich w tych sprawach (Dz.U. 2018 poz. 258)[84]. Rozporządzenie to, wśród schorzeń układu krążenia będących przeciwwskazaniami do służby wojskowej mówi o „Innych chorobach serca upośledzających trwale sprawność ustroju", co zawiera w sobie zarówno ubytek przegrody międzyprzedsionkowej, jak i dużego stopnia przetrwały otwór owalny, którym towarzyszy przeciek żylno – tętniczy. Wśród zalecanych badań dodatkowych do oceny mięśnia sercowego wymienia się echokardiografię przezklatkową. W przypadku podejrzenia wad serca, w tym obecności przecieku prawo – lewo na wysokości przegrody międzyprzedsionkowej, wykonywana jest echokardiografia przezprzełykowa z podaniem kontrastu dożylnie.

2.7.4 Nurkowie amatorzy.

Do 2010 roku zasady nurkowania amatorskiego w Polsce normowało Rozporządzenie Ministra Sportu z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zasad bezpieczeństwa przy uprawianiu płetwonurkowania (Dz.U. 2006 poz. 1103) [85]. Mówiło ono, że nurkować może osoba, której stan zdrowia na to pozwala. W przypadku konieczności udokumentowania stanu zdrowia, płetwonurek zobowiązany był przedstawić zaświadczenie zawierające orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do uprawiania płetwonurkowania lub oświadczenie, że jego stan zdrowia pozwala na uprawianie płetwonurkowania. W związku z wprowadzenie w życie Ustawy z dnia 25 czerwca 2010 r. o sporcie (Dz.U. 2010 nr 127 poz. 857) [86], powyższe rozporządzenie Ministra Sportu w sprawie zasad bezpieczeństwa przy uprawianiu płetwonurkowania zostało uznane za nieobowiązujące. Ponieważ Ustawa o sporcie z dnia 25 czerwca 2010 nie normuje zasad obowiązujących podczas kwalifikowania do nurkowania, obecnie różne federacje nurkowe działające na terenie Polski realizują ten obowiązek różnorako.

Według systemu szkolenia Polskiego Towarzystwa Turystyczno – Krajoznawczego (CMAS/KDP) obowiązującym jest Zarządzenie nr 14/99 Sekretarza Generalnego ZG PTTK z dnia 06.01.99r.[87]. Wśród wymogów stawianych osobom uprawiającym płetwonurkowanie konieczność jest posiadania orzeczenia lekarskiego dopuszczającego do nurkowania. Niestety nie wszyscy instruktorzy stosują się do tego zarządzenia, ograniczając się często do deklaracji uczestników szkolenia o stanie własnego zdrowia.

Podobne jak w PTTK standardy obowiązują w innych zrzeszonych w CMAS organizacjach nurkowych w Polsce, takich jak LOK, IDA czy PZN. Osoby uprawiające w Polsce nurkowanie według systemu PADI zobowiązane są natomiast do wypełnienia ankiety zdrowotnej dotyczącej stanu zdrowia, przebytych chorób oraz przyjmowanych leków[88]. W przypadku, gdy na podstawie udzielonych odpowiedzi pojawiają się wątpliwości co do bezpieczeństwa nurkowania, osoba nurkująca zobowiązana jest do zgłoszenia się do lekarza w celu przedyskutowania wątpliwości z tym związanych. Wskazówki dla lekarzy dotyczące zagadnień medycyny nurkowej można znaleźć na stronie Underwater & Hyperbaric Medical Society (Diving Medical Guidance to the Physician) [89] .

Wśród schorzeń układu sercowo- naczyniowego mogących być przeciwwskazaniem do nurkowania wymieniają one PFO. Podkreśla się jednak, że rutynowe poszukiwanie obecności PFO nie jest zalecane, niemniej jednak w przypadku stwierdzenia w czasie badań obecności PFO u nurka, ma on do wyboru trzy opcje – zaprzestać nurkowania, przestrzegać rygorystycznie warunków bezpieczeństwa oraz po trzecie, poddać się zabiegowi zamknięcia otworu owalnego przy pomocy okludera. Zamykanie otworu owalnego u nurków jest obecnie w Polsce stosowane niezwykle rzadko. Inne, licznie działające w Polsce organizacje nurkowe, w większości ograniczają się do ankiety bądź oświadczenia o stanie zdrowia.

3 Cele pracy

Głównym celem badania jest oszacowanie częstości występowania przecieku żylno – tętniczego (RLS, right – to – left shunt) w grupie nurków obejmujących nurków służb mundurowych (wojskowych i funkcjonariuszy MSWiA) oraz amatorów.

W prowadzonym badaniu chciałbym ocenić również przydatność przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej z kontrastem w wykrywaniu RLS w procesie kwalifikacji kandydatów na nurków wojskowych w czasie badań wstępnych oraz okresowych wykonywanych przez Wojskową Komisję Morsko –Lekarską .

Celem dodatkowym prowadzonych badań jest porównanie skuteczności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej bez kontrastu (TTE), stosowanej rutynowo w Wojsku Polskim w procesie kwalifikowania kandydatów na nurków, w wykrywanie przecieku żylno tętniczego.

4 Materiał i metody

4.1 Grupa badana

Grupę badaną stanowili ochotnicy - nurkowie zatrudnieni w Państwowej Straży Pożarnej, nurkowie wojskowi oraz nurkowie amatorzy. Łącznie w badaniu brało udział 78 nurków, w tym 30 żołnierzy zawodowych, 11 strażaków Państwowej Straży Pożarnej oraz 37 nurków amatorów.

Jedynym kryterium wykluczającym z badania był brak odpowiedniego, przejrzystego dla ultradźwięków okienka skroniowego, poprzez które monitorowano przepływ w tętnicy środkowej mózgu. U wszystkich badanych nurków okienko skroniowe było przejrzyste i umożliwiało przeprowadzenie badania.

Na przeprowadzenie badań zgodę wyraziła Komisja Bioetyczna przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Gdańsku (KB-6/2019 z dnia 31.01.2019).

4.2 Metoda badawcza

4.2.1 Procedura

Przed zakwalifikowaniem do badania każdy nurek uzyskiwał informację dotyczącą planowanej procedury oraz miał możliwość wyjaśnienia wszystkich z tym związanych wątpliwości. (zał. nr 1)

W celu ostatecznego włączenia nurka do badania przy pomocy sonografii dopplerowskiej z podaniem kontrastu, musiał on wyrazić świadomą zgodę na procedurę. (zał. nr 2)

Przed rozpoczęciem badania dopplerowskiego nurkowie wypełniali ankietę (zał. nr 3), która zawierała pytania dotyczące wieku, wzrostu, masy ciała oraz historii nurkowania badanego, w tym liczby lat nurkowania, przebytych wypadków nurkowych oraz dolegliwości im towarzyszących. Badani nurkowie odpowiadali również na pytania, czy wykonano dotychczas

u nich echokardiografię przezklatkową lub echokardiografię przezprzełykową oraz czy do tej pory wykryto obecność przecieku żylno - tętniczego lub przetrwałego otworu owalnego. Ostatnie pytanie dotyczyło tego, czy w czasie dotychczasowej ambulatoryjnej diagnostyki radiologicznej (RTG lub TK klatki piersiowej) wykryto u nich obecność przetoki tętniczo – żylnej w obrębie płuc.

Do wykrywania przecieku żylno tętniczego wykorzystywano dopplerowski aparat USG do badań przezczaszkowych Sonara, wyposażony w sondy o częstotliwości 2 MHz oraz 4 MHz z dopplerem PW (Pulse Wave). W celu łatwiejszego monitorowania przepływu w tętnicy środkowej mózgu stosowano opaskę stabilizująca przy skroni sondę 2MHz. W trakcie badania podawano dożylnie kontrast – zawiesinę mikropęcherzyków powietrza w soli fizjologicznej. Procedura badania oparta została na stworzonym przez Jaussa w 2000 standardzie wykrywania przecieku żylno tętniczego przy pomocy sonografii dopplerowskiej [77] oraz opublikowanych w 2016 roku przez Wojczal „Standardach badań ultrasonograficznych w neurosonologii" [90].

W celu potwierdzenia obecności przecieku żylno – tętniczego poprzez przegrodę międzyprzedsionkowej, nurkom z przeciekiem wykazanym w badaniu cTCD zalecano wykonanie kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej w trybie ambulatoryjnym. W celu uzyskania wyniku TEE, kontaktowano się z nurkami drogą telefoniczną pół roku po przeprowadzonym badaniu cTCD.

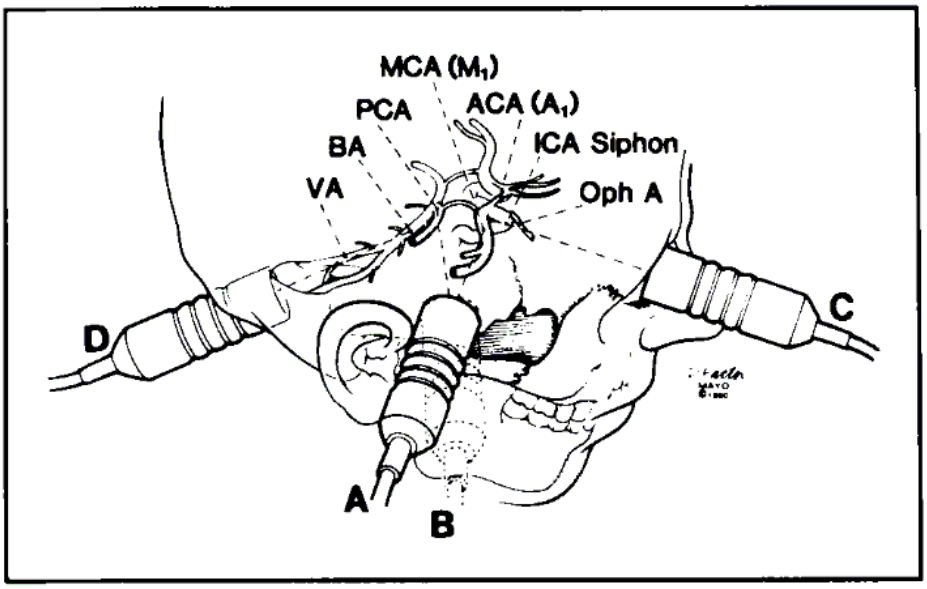
4.2.2 Metoda badania

W warunkach prawidłowych dożylnie podane pęcherzyki gazu o wielkości powyżej 10 mikronów wychwytywane są w obrębie krążenia płucnego. W przypadku obecności bezpośredniego przecieku żylno – tętniczego, z krążenia małego do krążenia systemowego (na przykład poprzez przetrwały otwór owalny na poziomie serca lub przetokę tętniczo – żylną na poziomie płuc), podanie kontrastu spowoduje przedostanie się mikropęcherzyków powietrza bezpośrednio do krążenia systemowego, w tym do tętnic mózgowych. W efekcie, podczas monitorowania przepływu w tętnicy środkowej mózgu, na ekranie monitora USG widoczne będą sygnały odpowiadające mikrozatorowości w krążeniu mózgowym. Sygnały te określane są mianem HITS (high intensity transient signals) i charakteryzują się krótkim czasem trwania (<300 ms) oraz dużym natężeniem (>3 dB ponad sygnał tła spektrum). Ich pojawianiu się towarzyszy zaś krótki, przypominający trzask, dźwięk o wysokiej częstotliwości. Stopień przecieku prawo-lewo określa się na podstawie ilości sygnałów rejestrowanych w czasie badania – od braku przecieku, poprzez przeciek minimalny (pojedyncze pęcherzyki) do znacznego („deszcz" sygnałów) [77,90, 91].

Podczas całego badania pacjent znajduje się w pozycji leżącej. Zgodnie ze standardem [77, 90], przed rozpoczęciem oceny ultrasonograficznej, w obrębie zgięcia łokciowego pacjent musi mieć założone do żyły odłokciowej wkłucie dożylne 18G. Po założeniu dostępu żylnego przeprowadza się klasyczne badanie dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych. W jego trakcie ocenia się przepływ w tętnicach szyjnych, kręgowych, podobojczykowych oraz tętnicach mózgowia.

Badanie tętnic zewnątrzczaszkowych prowadzi się przy pomocy sondy 4 MHz z dopplerem CW. W badaniu tętnic śródczaszkowych wykorzystywana jest sonda 2 MHz z dopplerem PW. Ocenę tętnic przednich, środkowych i tylnych mózgu prowadzi się poprzez okienko skroniowe (A), poprzez okienko potyliczne (D) obrazuje się natomiast przepływ w tętnicy podstawnej oraz tętnicach kręgowych w odcinku śródczaszkowym. W przypadku konieczności oceny przepływu w tętnicy ocznej i syfonie tętnicy szyjnej wewnętrznej badanie prowadzi się przez okienko oczodołowe (C) (Ryc.5).

Ryc 5
Okienka kostne wykorzystywane w przezczaszkowym badaniu dopplerowskim



Petty, G. W., Wiebers, D. O., Meissner, I. *Transcranial Doppler Ultrasonography: Clinical Applications in Cerebrovascular Disease. Mayo Clinic Proceedings, 65(10), 1350–1364.[92]*

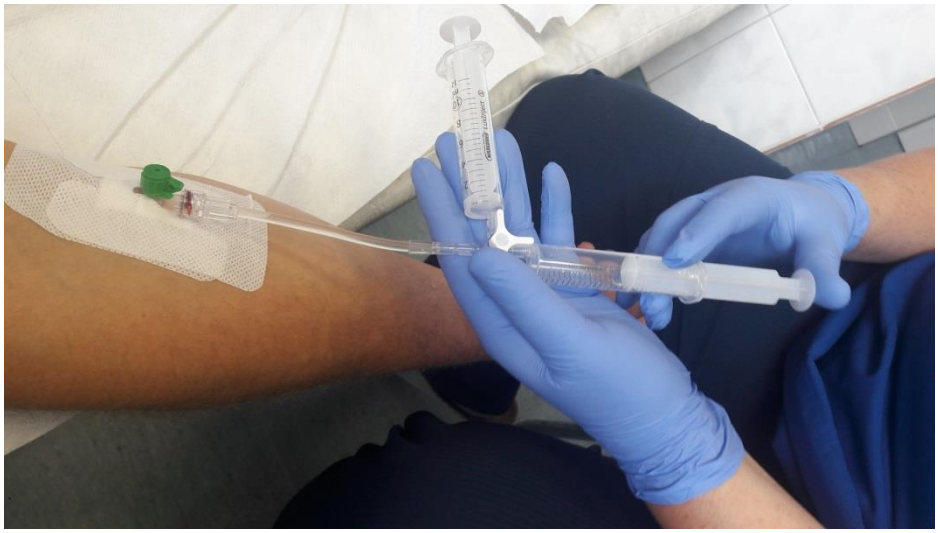
Po zakończeniu pierwszej fazy badania, pacjentowi zakłada się na głowę opaskę utrzymującą i stabilizującą sondę USG 2MHz do badania tętnic śródczaszkowych. W trakcie badania sonda ta monitorować będzie przepływ krwi w tętnicy środkowej mózgu (Ryc.6)

Ryc.6
Opaska stabilizująca sondę 2MHz przy prawym okienku skroniowym

Fotografia – materiał własny

Przed rozpoczęciem kolejnego etapu przygotowane zostaną strzykawki 10 ml z kontrastem składającym się z soli fizjologicznej oraz zawieszonych w niej mikropęcherzyków powietrza. Kontrast powstaje poprzez energiczne mieszanie poprzez kranik trójdrożny, znajdujących się w dwóch strzykawkach 9cm^3 soli fizjologicznej oraz 1 cm^3 powietrza. Nadmiar powietrza, który nie jest zawieszony w soli fizjologicznej, usuwany jest ze strzykawki przed podaniem kontrastu do żyły odłokciowej. Kontrast wykonuje się bezpośrednio przed jego wstrzyknięciem do żyły. (Ryc.7).

Ryc.7
Przygotowywanie kontrastu



Fotografia – materiał własny

Test ultrasonograficzny wykrywający przeciek żylno – tętniczy rozpoczyna się po uzyskaniu wyraźnego i stabilnego obrazu spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu w badaniu przez okno skroniowe. Pacjent leży w spoczynku na wznak z założoną opaską stabilizującą sondę USG oraz oddycha normalnie. W trakcie testu kontrast (9ml soli fizjologicznej wytrząsanej z powietrzem) standardowo podaje się czterokrotnie do żyły odłokciowej – za pierwszym razem w spoczynku, kolejne trzy razy z próbą Valsalvy. Próba ta polega na tym, że badany nabiera głęboki wdech a następnie stara się wydmuchać powietrze z płuc przy zamkniętej głośni. W jej trakcie wzrasta ciśnienie w klatce piersiowej oraz w prawym przedsionku serca, co przyczynia się do nasilenia lub sprowokowania potencjalnego przecieku z prawego do lewego przedsionka.

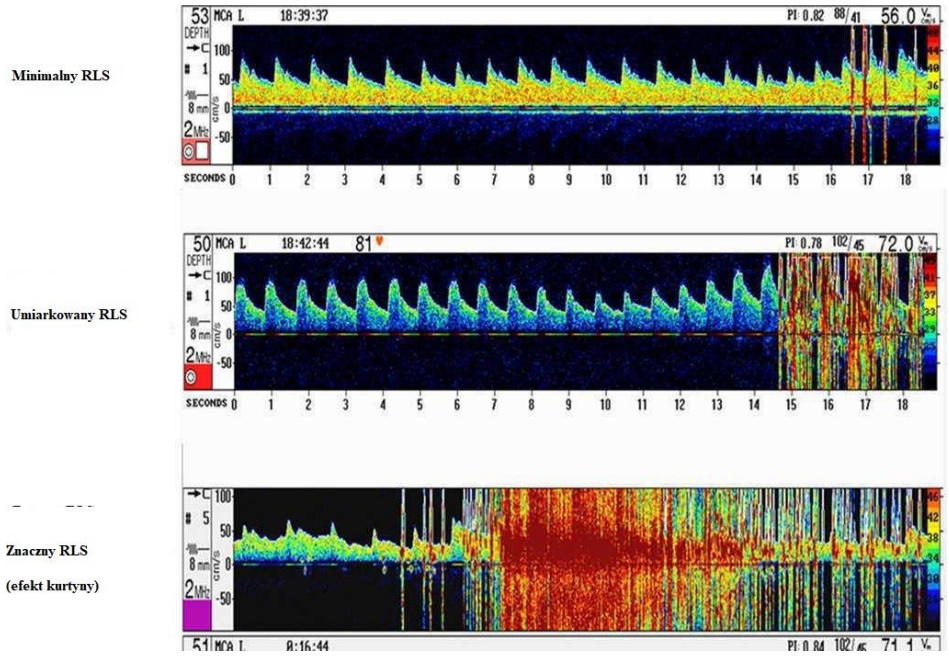
Po pierwszym podaniu kontrastu dożylnie, w ciągu 60 s obserwuje się spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu. Jeżeli sygnały mikrozatorowe pojawią się w dużej liczbie - ponad 20, a zwłaszcza jeśli mają charakter „deszczu" sygnałów i są niepoliczalne, odstępuje się od kontynuowania badania z zastosowaniem manewru Valsalvy, co pozwala uniknąć sprowokowania zatoru tętnic siatkówki. Jeśli sygnały mikrozatorowe nie pojawiają się w spoczynku w czasie pierwszej minuty po podaniu kontrastu, kolejne trzy próby wykonuje się z próbą Valsalvy. W ich trakcie, monitorując przepływ w tętnicy środkowej mózgu, podaje się kontrast w bolusie dożylnym, a po 5 sekundach od iniekcji poleca się pacjentowi, aby przez 10s wykonywał próbę Valsalvy. Przy prawidłowym wykonaniu tej próby, w obrazie TCD widoczne będą zmiany związane ze wzrostem ciśnienia wewnątrzczaszkowego (znaczny wzrost oporu i zwolnienie prędkości skurczowej i rozkurczowej), a po przywróceniu normalnego oddychania widoczna będzie niewielka hiperperfuzja.

Podczas całej procedury należy monitorować przez około 60s spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu i śledzić pojawianie się sygnałów HITS świadczących o mikrozatorowości na tle przecieku prawo – lewo.

Wynik badania jest negatywny, gdy w trakcie trzech powtarzających się po sobie prób z manewrem Valsalvy nie pojawią się sygnały obecności mikropęcherzyków. W przypadku pojawienia się na tle widma tętnicy środkowej mózgu sygnałów wysokoenergetycznych (Ryc.8), stopień przecieku żylno – tętniczego, w zależności od ilości stwierdzonych pęcherzyków określa się jako minimalny, umiarkowany i znaczny. (Tab.1) [70,77,90,91] Sama obecność przecieku żylno – tętniczego nie świadczy o obecności przetrwałego otworu owalnego. Do przecieku może bowiem dojść zarówno na poziomie serca jak i poprzez przetokę tętniczo – żylną na poziomie płuc [93, 94]. Chociaż ostateczna diagnoza PFO stawiana jest po badaniu TEE, to pomocnym parametrem pomagającym zlokalizować miejsce przecieku żylno – tętniczego może być czas pojawienia się sygnałów wysokoenergetycznych (HITS) od podania kontrastu. W przypadku RLS na poziomie przegrody międzyprzedsionkowej pierwsze sygnały rejestrowane są po około 11 s od infuzji, w przypadku przecieku w krążeniu płucnym później – po około 15 s.[77]

Ryc.8

Schemat przedstawiający różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy na tle widma tętnicy środkowej mózgu.



González-Alujas T at al, Diagnosis and Quantification of Patent Foramen Ovale. Which Is the Reference Technique? Simultaneous Study With Transcranial Doppler, Transthoracic and Transesophageal Echocardiography., Rev Esp Cardiol. 2011;64(2):133-139 [70]

Tab.1

Klasyfikacja stopnia przecieku z krążenia małego do dużego przy jednokanałowym monitorowaniu tętnicy środkowej mózgu

Grupa przecieku	Liczba sygnałów	Wynik badania
0	brak sygnałów mikrozatorowych	brak RLS
1	1–10 sygnałów	minimalny RLS
2	powyżej 10 sygnałów policzalne, niezlewające się	umiarkowany RLS
3	„deszcz” sygnałów (ze względu na ich zlewanie się, brak możliwości policzenia pojedynczych sygnałów)	znaczny RLS

4.2.3 Analiza statystyczna.

Do analiz statystycznych użyto programu Statistica v.13.

W celu przedstawienia wyników badań otrzymanych w skali nominalnej i porządkowej skorzystano z metod statystyki opisowej – liczebności (N) oraz odsetka wyrażonego w procentach (%). Analizowano liczności badanych nurków w poszczególnych grupach (nurkowe z Marynarki Wojennej, nurkowe zawodowi ze Straży Pożarnej oraz nurkowie amatorzy). Porównano wyniki badań echokardiografii przezklatkowej(TTE) i przezprzełykowej (TEE) oraz liczności wykrytego w poszczególnych grupach przy pomocy sonografiii przezczaszkowej (TCD), TEE i TTE przecieku żylno – tętniczego na poziomie serca (RLS).

Do ogólnej charakterystyki zmiennych: wiek, waga, wzrost, BMI i ilości lat nurkowania dla poszczególnych grup wykorzystano metody statystyki opisowej – obliczono średnią, medianę, minimum i maksimum, dane podzielono na kwartyle oraz wyliczono dla nich odchylenie standardowe.

W celu podsumowania wyników badań oraz wyciągnięcia wniosków dane zgrupowano w tabelach oraz zaprezentowano je w postaci histogramów.

Do analizy statystycznej różnic między poszczególnymi grupami (nurkowie z Marynarki Wojennej, nurkowie zawodowi ze Straży Pożarnej oraz nurkowie amatorzy) dla wyżej wskazanych zmiennych wykorzystano test Kruskala-Wallisa.

W celu wykazania, że przy wykorzystaniu TCD z kontrastem będzie możliwe wykrycie przecieku żylno - tętniczego u części nurków, u których w badaniu TTE nie wykryto obecności PFO, wykorzystano test Q Cochrane'a.

5 Wyniki badań.

5.1 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezklatkowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków (Tab.2).

Tab.2

	Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezklatkowej wykonanych w poszczególnych grupach badanych nurków przed badaniem TCD		
	Wykonano	Nie wykonano	Razem
Marynarka Wojenna RP			
Ilość	30	0	30
Odsetek	100,00%	0,00%	100%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	11	11
Odsetek	0,00%	100,00%	100%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	7	30	37
Odsetek	18,92%	81,08%	100%
Razem			
Ilość	37	41	78
Odsetek	47,44%	52,56%	100%

Do analizy ilości i odsetka Echokardiografii przezklatkowej (TEE) wykonanej w poszczególnych grupach nurków, wykorzystano dane z ankiety przeprowadzonej w trakcie badania (załącznik nr 3).

TEE była wykonana u wszystkich 30 nurków MW RP.

W przypadku nurków służących w Państwowej Straży Pożarnej Echokardiografia przezklatkowa nie była wykonana u żadnej ankietowanej osoby.

Spośród 37 nurków amatorów, TEE przeprowadzono u 7 osób, co stanowiło 18,92% badanej grupy.

Łącznie echokardiografię przezklatkową wykonano u 37 osób, czyli 47,44% wszystkich badanych nurków.

5.2 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezprzełykowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków przed badaniem TCD (Tab.3).

Tab. 3

	Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezprzełykowej wykonanych w poszczególnych grupach badanych nurków przed badaniem TCD		
	Wykonano	Nie wykonano	Razem
Marynarka Wojenna RP			
Ilość	0	30	30
Odsetek	0,00%	100,00%	100%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	11	11
Odsetek	0,00%	100,00%	100%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	1	36	37
Odsetek	10,28%	89,72%	100%
Razem			
Ilość	1	77	78
Odsetek	1,28%	98, 72%	100%

Do analizy ilości i odsetka Echokardiografii przezprzełykowych (TTE) wykonanych w poszczególnych grupach nurków, wykorzystano dane z ankiety przeprowadzonej w trakcie badania (załącznik nr 3).

Żaden z nurków służących w jednostkach MW RP oraz w funkcjonariuszy PSP nie miał wykonanego badania TTE.

Spośród wszystkich nurków amatorów, jedynie jedna osoba miała wykonaną echokardiografię przezprzełykową, co stanowiło 10,28% grupy.

Łącznie, w całej grupie 78 ankietowanych nurków, odsetek wykonanych badań Echokardiografii przezprzełykowej stanowił 1,28%.

5.3 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu echokardiografii przezklatkowej (TEE) oraz echokardiografii przezprzełykowej (TTE) przed badaniem cTCD (Tab.4).

Tab.4

	Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy TTE lub TEE przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków – przed badaniem cTCD								
	TTE			TEE			Razem (TTE + TEE)		
	Ilość badań	Ilość RLS	Ods. RLS	Ilość badań	Ilość RLS	Ods. RLS	Ilość badań	Ilość RLS	Ods. RLS
Marynarka Wojenna RP	30	0	0%	0	0	0%	30	0	0%
Państwowa Straż Pożarna	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%
Nurkowanie amatorskie	7	0	0%	1	0	0%	8	0	0%
Razem	37	0	0%	1	0	0%	38	0	0%

Spośród 78 badanych nurków, wszyscy nurkowie służący w jednostkach Marynarki Wojennej (30 osób), w trakcie służby wojskowej mieli wykonywane badania Echokardiografii przezklatkowej, nie przeprowadzono u nich natomiast badania TTE.

Wśród personelu PSP nie wykonano zarówno TEE jak i TEE.

Wśród nurków amatorów 7 osób miało wykonane badanie TEE, jedna badanie TTE.

U żadnego z ankietowanych nurków, w trakcie przeprowadzonych przed badaniem cTCD badań echokardiograficznych nie stwierdzono obecności przecieku żylno – tętniczego.

5.4 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu USG dopplerowskiego tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z dożylnym podaniem kontrastu (cTCD) (tab.5).

Tab.5

	Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu cTCD	
	Wykryty przeciek żylno – tętniczy	Brak przecieku żylno - tętniczego
MW RP		
Ilość	8	22
Odsetek	26,67%	73,33%
Państwowa Straż Pożarna		
Ilość	3	8
Odsetek	27,27%	72,73%
Nurkowanie amatorskie		
Ilość	5	32
Odsetek	13,51%	86,49%
Razem		
Ilość	16	62
Odsetek	20,5%	79,5%

Przy wykorzystaniu cTCD, u 8 nurków MW RP stwierdzono obecność różnego stopnia przecieku żylno - tętniczego, łącznie u 26,67 % osób z badanej grupy.

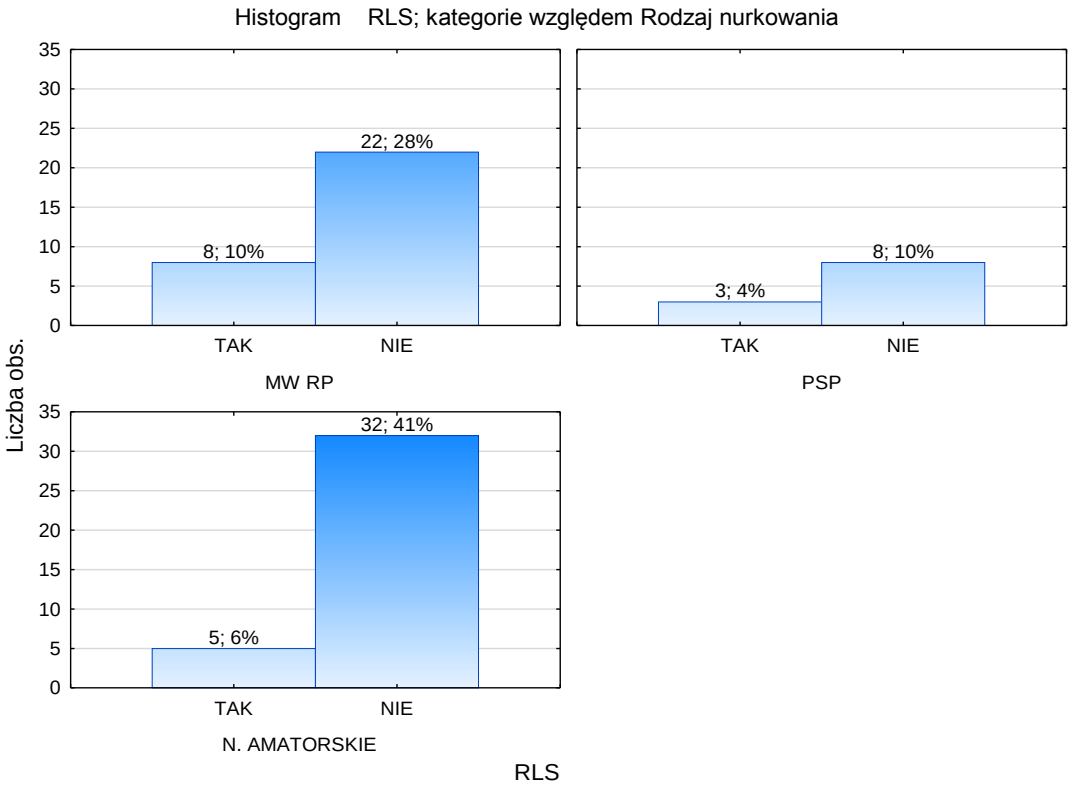
Wśród nurków służących w Państwowej Straży Pożarnej przeciek tętniczo – żylny wykryto u 3 spośród 11 badanych - 27,27% badanych.

W grupie nurków amatorów ilość wykazanych przecieków żylno – tętniczych była niższa – na 37 badanych osób RLS stwierdzono u 5 osób, co stanowiło 13,51% z badanej grupy.

Łącznie, spośród 78 badanych osób, różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykazano u 16 nurków - 20,5% wszystkich badanych.

Ryc. 9

Skategoryzowany histogram przedstawiający częstość występowania przecieku żylno – tętniczego w poszczególnych grupach nurków.



5.5 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków w rozbiciu na stopień przecieku (Tab. 6).

Tab.6

	Stopnień przecieku żylno – tętniczego wykazanego w cTCD w poszczególnych badanych grupach nurków				
	Brak RLS	Minimalny RLS	Umiarkowany RLS	Znaczny RLS	Razem
MW RP					
Ilość	22	5	2	1	30
Odsetek	73,33%	16,67%	6,67%	3,33%	100%
Państwowa Straż Pożarna					
Ilość	8	1	2	0	11
Odsetek	72,73%	9,09%	18,18%	0,00%	100%
Nurkowanie amatorskie					
Ilość	32	0	5	0	37
Odsetek	86,49%	0,00%	13,51%	0,00%	100%
Razem					
Ilość	62	6	9	1	78
Odsetek	79,49%	7,69%	11,54%	1,28%	100%

U 5 nurków MW RP stwierdzono obecność minimalnego RLS, u dwóch RLS stopnia umiarkowanego a u jednego wykryto przeciek znacznego stopnia.

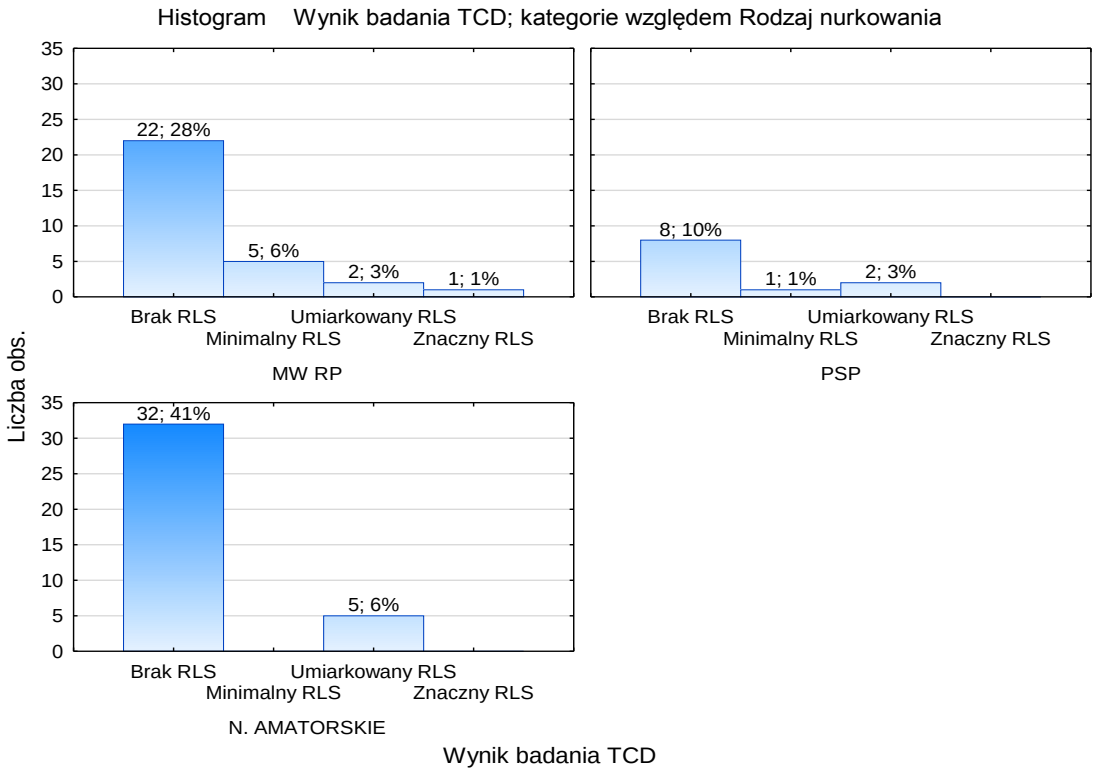
Wśród 8 nurków służących w Państwowej Straży Pożarnej przeciek tętniczo – żylny minimalnego stopnia wykryto u jednego 3 spośród badanych a RLS umiarkowanego stopnia u jednego nurka.

W grupie nurków amatorów nie wykazanych obecności przecieku minimalnego i znacznego stopnia, RLS stopnia umiarkowanego stwierdzono u 5 nurków badanej grupy.

Przy wykorzystaniu cTCD, łącznie u 16 nurków wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno - tętniczego, łącznie u 20,5% wszystkich badanych, z tego u 6 przeciek minimalny (7,69%), u 9 z nich umiarkowanego stopnia RLS (11,54%) a u jednego przeciek żylno – tętniczy znacznego stopnia, co stanowiło 1,28% wszystkich nurków.

Ryc. 10

Skategoryzowany histogram przedstawiający stopień wykazanego w c-TCD przecieku żylno – tętniczego w poszczególnych grupach nurków w odniesieniu do całej grupy badanych nurków.



5.6 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezklatkową (Tab. 7) .

Tab. 7

	Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano TTE		
	Ilość wykonanych badań TTE	Wykryty w cTCD przeciek żylno – tętniczy	Nie wykryty w cTCD przeciek żylno – tętniczy
MW RP			
Ilość	30	8	22
Odsetek	100%	26,67%	73,33%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	-	-
Odsetek	100%	-	-
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	7	1	6
Odsetek	100%	14,29%	85,71%
Razem			
Ilość	37	9	28
Odsetek	100%	24,32%	75,68%

Spośród 37 wszystkich nurków, u których uprzednio wykonano przezklatkową echokardiografię, u dziewięciu wykryto w badaniu cTCD różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy. Stanowiło to 24,32% wszystkich badanych.

W grupie nurków Marynarki Wojennej TTE wykonano u wszystkich badanych nurków, przeciek żylno – tętniczy wykryto u 8 z nich.

Wśród amatorów, wcześniejszą echokardiografię przeprowadzono u 7 nurków, RLS stwierdzono u jednego z nich.

W grupie nurków Państwowej Straży Pożarnej echokardiografia przezklatkowa nie była wykonywana.

5.7 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezprzełykową (Tab. 8).

Tab. 8

	Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano TEE		
	Ilość wykonanych badań TEE	Wykryty w cTCD przeciek żylno – tętniczy	Nie wykryty w cTCD przeciek żylno – tętniczy
MW RP			
Ilość	0	-	-
Odsetek	100%	-	-
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	-	-
Odsetek	100%	-	-
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	1	0	1
Odsetek	100%	0%	100%
Razem			
Ilość	1	0	1
Odsetek	100%	0%	100%

Spośród wszystkich włączonych do badania nurków, przed wykonaniem badanie cTCD, echokardiografię przezprzełykową wykonano u jednego nurka amatora, W wykonanej u niego sonografiii przezczaszkowej nie wykryto RLS.

Zarówno u nurków wojskowych jak i nurków PSP wcześniejszego badania TEE nie wykonano.

5.8 Ilość i odsetek badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno - tętniczym (Tab. 9) .

Tab.9

	Ilość i odsetek badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym		
	Wykryty w cTCD przeciek żylno – tętniczy	Ilość wykonanych badań TEE	Ilość osób, u których nie wykonano TEE
MW RP			
Ilość	8	6	2
Odsetek	100%	75%	25%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	3	0	3
Odsetek	100%	0%	100%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	5	4	1
Odsetek	100%	80%	20%
Razem			
Ilość	16	10	6
Odsetek	100%	62,5%	37,5%

Spośród wszystkich 16 nurków, u których wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno – tętniczego, badanie TEE wykonało 10 osób, co stanowi 62,5% badanych.

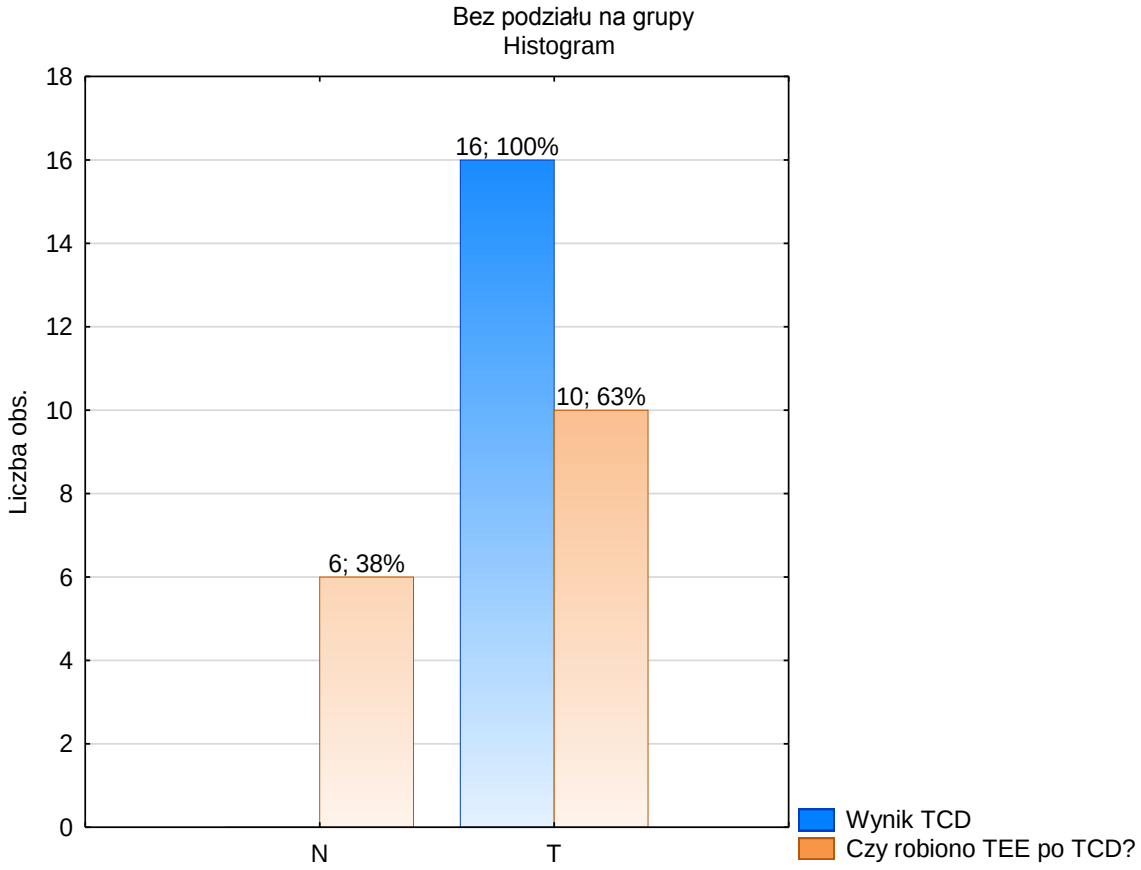
Spośród nurków Państwowej Straży Pożarnej nikt nie wykonał badania TEE.

Wśród nurków służących w jednostkach Marynarki Wojennej echokardiografię przezprzełykową wykonano u 6 osób, co stanowiło 75% nurków ze stwierdzonym RLS.

Spośród nurków amatorów, na 5 osób ze stwierdzonych przeciekiem żylno – tętniczym, badanie TEE wykonano u 4 osób, co stanowiło 80% badanej grupy.

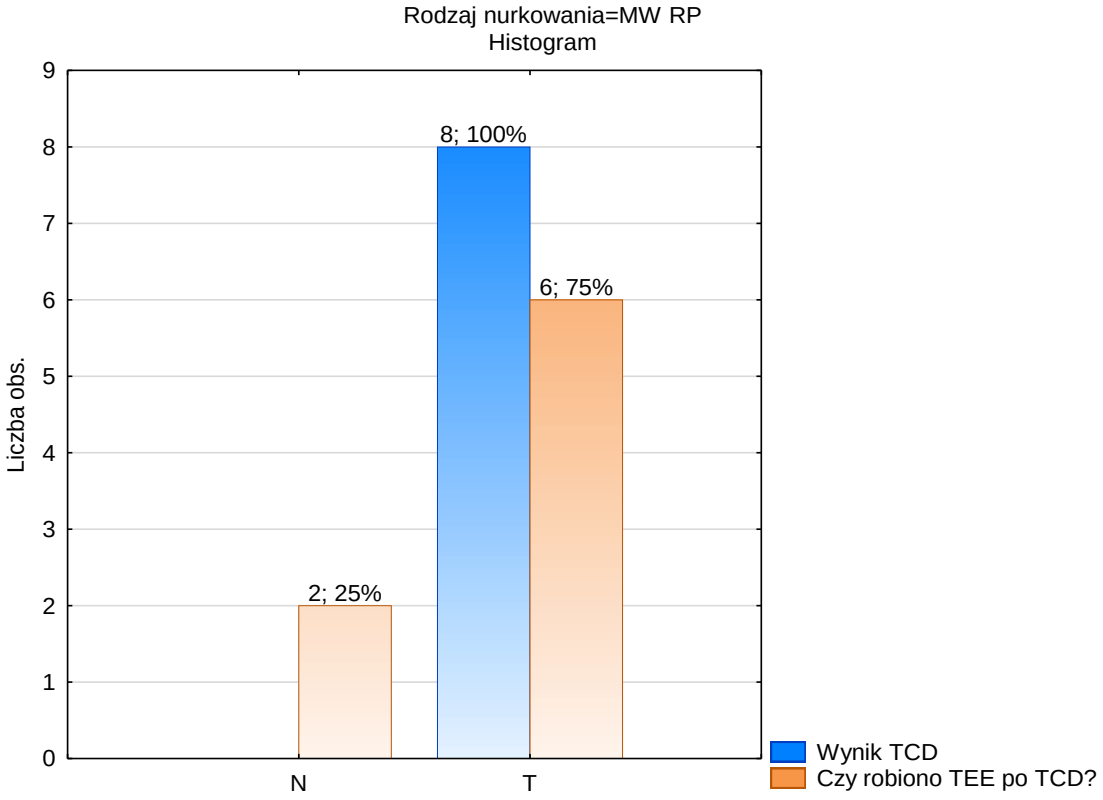
Ryc.11

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u wszystkich nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym.



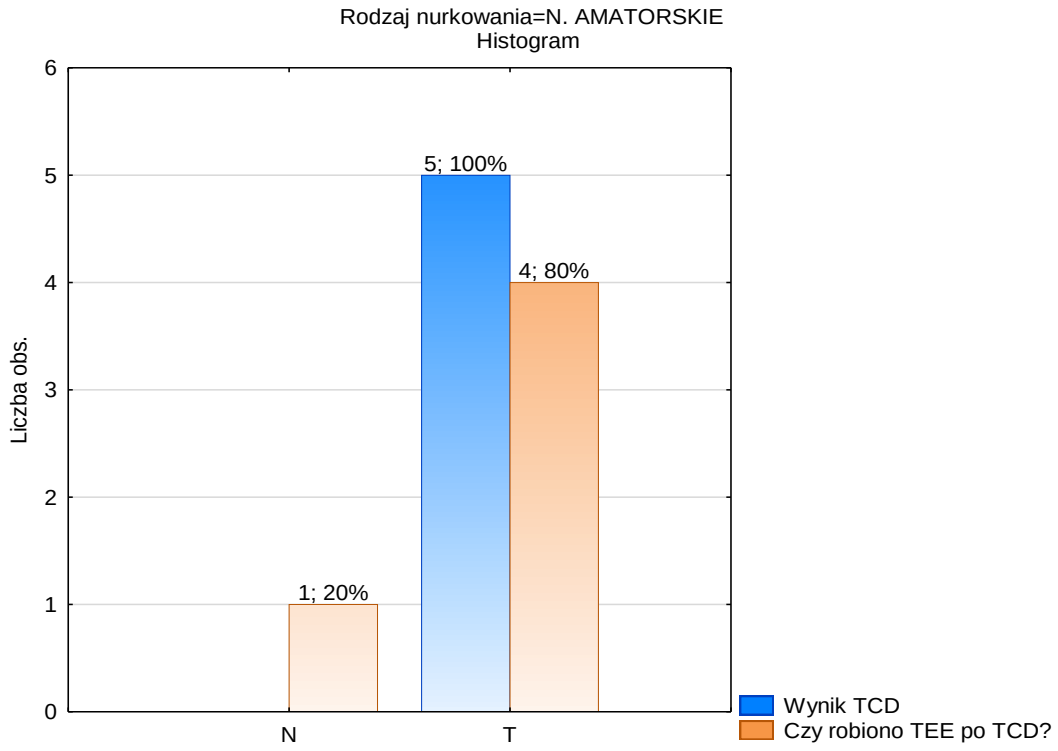
Ryc. 12

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków Marynarki Wojennej ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym.



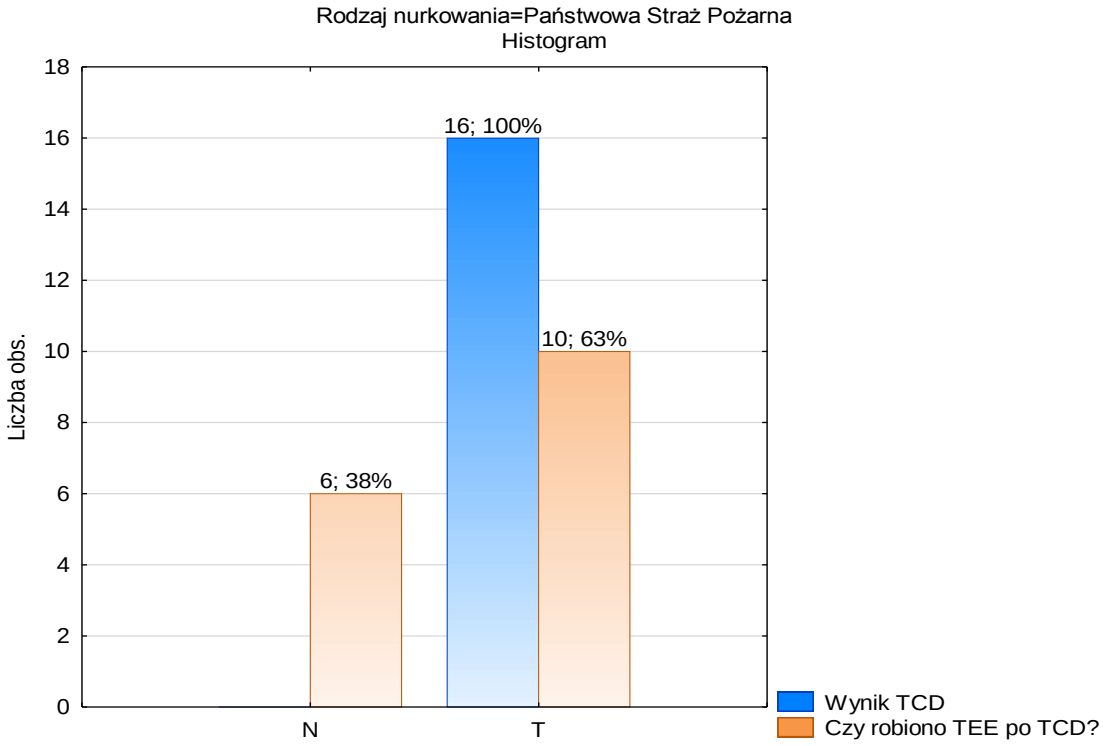
Ryc. 13

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków amatorów ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym.



Ryc. 14

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków Straży Pożarnej ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym.



5.9 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE (Tab. 10).

Tab.10

	Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE		
	Ilość wykonanych badań TEE u nurków z RLS	Stwierdzona obecność PFO w TEE	Brak obecności PFO w TEE
MW RP			
Ilość	6	1	5
Odsetek	100%	16,67%	83,33%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	0	0
Odsetek	0%	0%	0%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	4	3	1
Odsetek	100%	75%	25%
Razem			
Ilość	10	4	6
Odsetek	100%	40%	60%

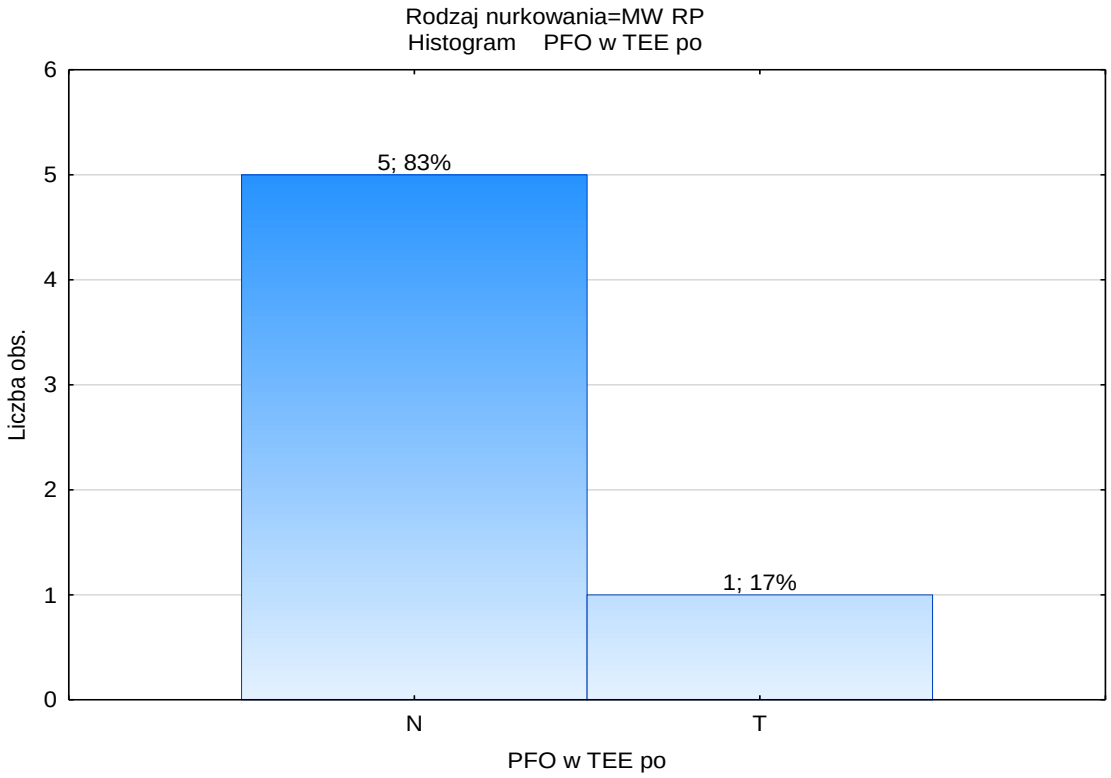
U wszystkich nurków ze stwierdzonym przeciekiem żylno – tętniczym, u których wykonano echokardiografię przezprzełykową, obecność przetrwałego otworu owalnego potwierdzono u 4 osób, co stanowi 40% osób badanych.

Spośród badanych 6 nurków Marynarki Wojennej ze stwierdzonym RLS, obecność PFO potwierdzono u 1 osoby, co stanowi 16,67% badanych.

Wśród nurków amatorów, na 4 osoby z RLS badane przy pomocy TEE, obecność PFO wykazano u 3 osób, co stanowiło 75% badanej grupy.

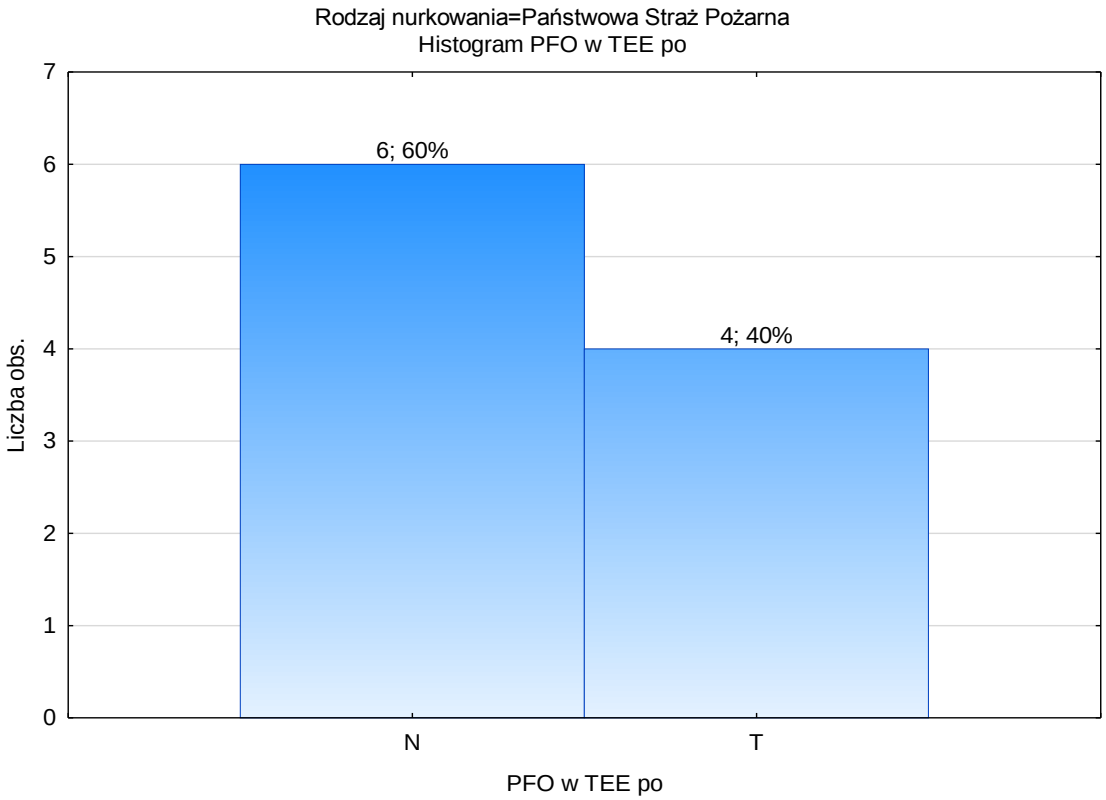
Ryc. 15

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u nurków Marynarki Wojennej z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE.



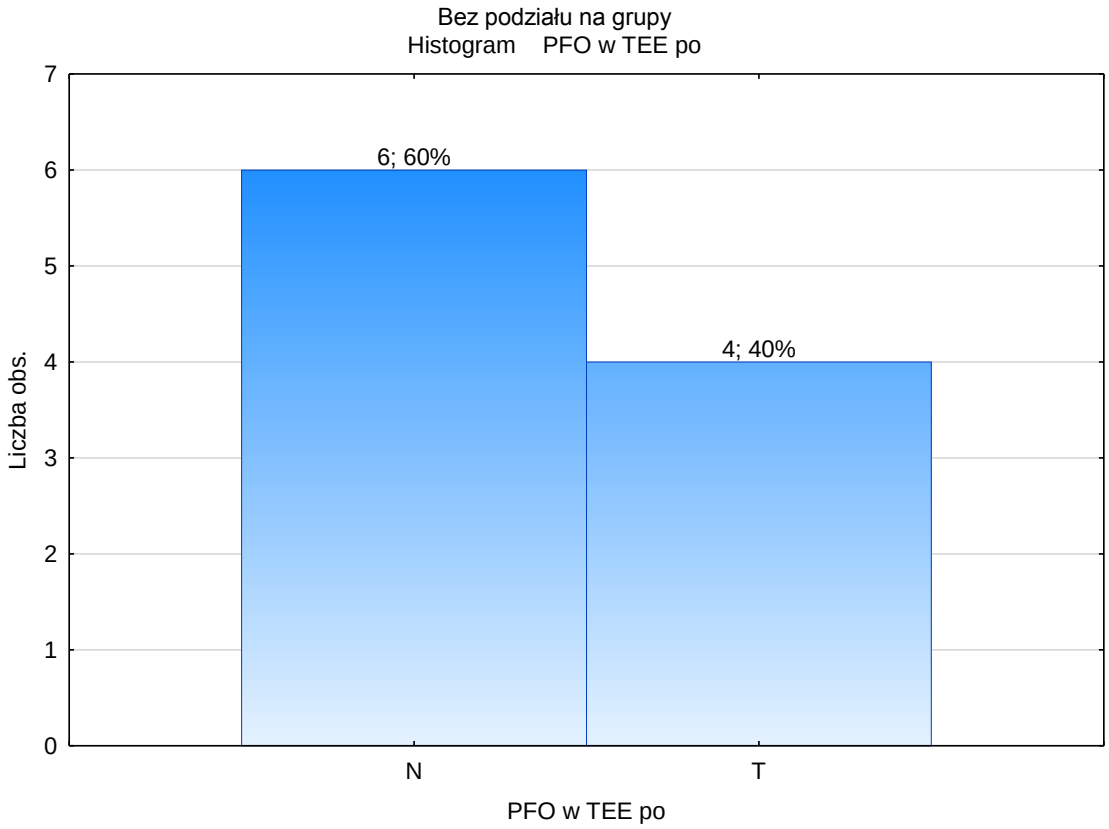
Ryc. 16

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u nurków amatorów z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE.



Ryc. 17

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u wszystkich nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE.



5.10 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE, w rozbiciu na stopień przecieku prawo – lewo (Tab.11 - 13).

Tab.11

	Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków z minimalnym przeciekiem żylno - tętniczym		
	Minimalny przeciek żylno - tętniczy	Potwierdzona obecność PFO w TEE	Brak obecności PFO w TEE
MW RP			
Ilość	3	0	3
Odsetek	100%	0%	100%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	0	0
Odsetek	0%	0%	0%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	0	0	0
Odsetek	0%	0%	0%
Razem			
Ilość	3	0	3
Odsetek	100%	0%	100%

Minimalny przeciek żylno – tętniczy wykryto jedynie u 3 nurków z jednostek Marynarki Wojennej.

W wykonanej po badaniu TCD kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej, u żadnego z nurków z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym nie potwierdzono obecności przetrwałego otworu owalnego

Tab.12

	Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków z umiarkowanym przeciekiem żylno - tętniczym		
	Umiarkowany przeciek żylno - tętniczy	Potwierdzona obecność PFO w TEE	Brak obecności PFO w TEE
MW RP			
Ilość	2	0	2
Odsetek	100%	0%	100%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	0	0
Odsetek	100%	0%	0%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	4	3	1
Odsetek	0%	75%	25%
Razem			
Ilość	6	3	3
Odsetek	100%	50%	50%

Umiarkowanego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykryto u 2 nurków z jednostek Marynarki Wojennej oraz u czterech nurków amatorów.

W wykonanej po badaniu TCD kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej, u żadnego z nurków Marynarki Wojennej nie potwierdzono obecności przetrwałego otworu owalnego.

Spośród badanych przy pomocy TEE nurków amatorów, PFO potwierdzono u 3 z nich, co stanowi 75% badanych.

Łącznie, spośród 6 nurków ze stwierdzonym w cTCD umiarkowanego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym, obecność PFO potwierdzono u 3 z nich, co stanowi 50% ogółu badanych.

Tab.13

	Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków ze znacznego stopnia przeciekiem żylno tętniczym		
	Znaczny przeciek żylno - tętniczy	Potwierdzona obecność PFO w TEE	Brak obecności PFO w TEE
MW RP			
Ilość	1	1	1
Odsetek	100%	100%	0%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	0	0	0
Odsetek	0%	0%	0%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	0	0	0
Odsetek	0%	0%	0%
Razem			
Ilość	1	1	0
Odsetek	100%	100%	0%

Znacznego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykryto jedynie u 1 nurka z jednostek Marynarki Wojennej.

W wykonanej po badaniu TCD kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej potwierdzono u niego obecność przetrwałego otworu owalnego.

5.11 Ilość i odsetek malformacji tętniczo- żylnych wykrytych w dotychczasowych badaniach RTG lub TK klatki piersiowej u nurków w poszczególnych grupach (Tab.14) .

Tab.14

	Ilość i odsetek malformacji tętniczo- żylnych w obrębie płuc wykrytych w badaniu RTG lub TK klatki piersiowej		
	Ilość nurków	Ilość wykonanych badań RTG / TK klatki piersiowej	Ilość wykazanych malformacji
MW RP			
Ilość	30	30	0
Odsetek	38,46%	38,46%	0%
Państwowa Straż Pożarna			
Ilość	11	11	0
Odsetek	14,10%	14,10%	0%
Nurkowanie amatorskie			
Ilość	37	37	0
Odsetek	47,44%	47,44%	0%
Razem			
Ilość	78	78	0
Odsetek	100%	100%	0%

Wszyscy nurkowe, zarówno służący w jednostkach Marynarki Wojennej jak i Państwowej Straży Pożarnej oraz nurkowie amatorzy, w czasie dotychczasowych badań ambulatoryjnych mieli wykonane badanie RTG lub TK klatki piersiowej.

U żadnego z nurków z poszczególnych grup, w czasie dotychczasowej diagnostyki radiologicznej nie wykazano obecności malformacji tętniczo – żylnych w obrębie płuc.

5.12 Łączna ilość badań wykonanych przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej (TEE) lub przezklatkowej(TTE) u nurków ze stwierdzonym przeciekiem żylno – tętniczym oraz ilość i odsetek wykrytych przy ich pomocy ubytków przegrody międzyprzedsionkowej (ASD II) (Tab. 15, 16).

Tab.15

	Łączna ilość badań wykonanych przy TEE lub TTE u nurków ze stwierdzonym RLS		
	Stwierdzono RLS	Wykonano TTE / TEE	Nie wykonano TTE / TEE
Ilość	16	12	5
Odsetek	100%	75%	25%

Tab.16

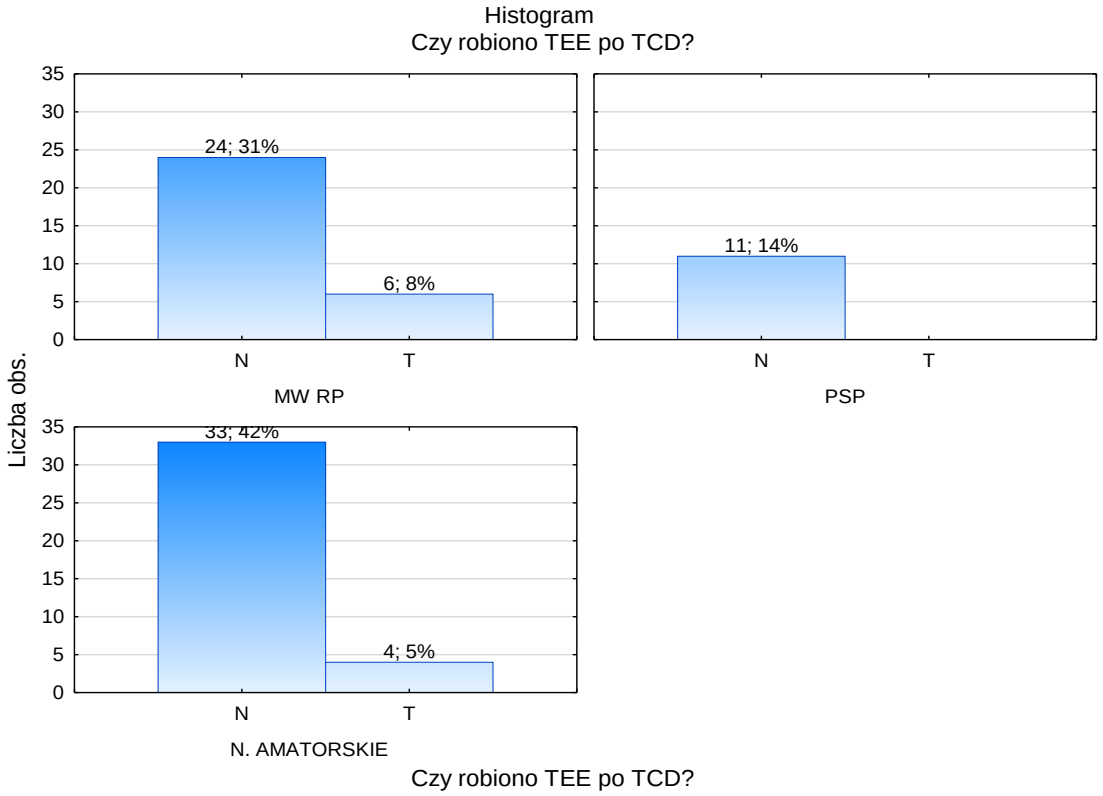
	Łączna ilość badań wykonanych przy TEE lub TTE u nurków ze stwierdzonym RLS oraz ilość wykrytych przy ich pomocy ASD II		
	Wykonano TTE / TEE	Wykryto ASD II	Nie wykryto ASD II
Ilość	12	0	12
Odsetek	100%	0%	100%

Spośród 16 nurków, u których wykazano RLS przy pomocy sonografiii dopplerowskiej, łącznie u 11 wykonano badanie TEE lub TTE (68,75%).

Zarówno w wykonanej przed badaniem cTCD echokardiografii przezklatkowej, jak i w kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej nie wykazano bezobjawowego ubytku przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu wtórnego (ASD II).

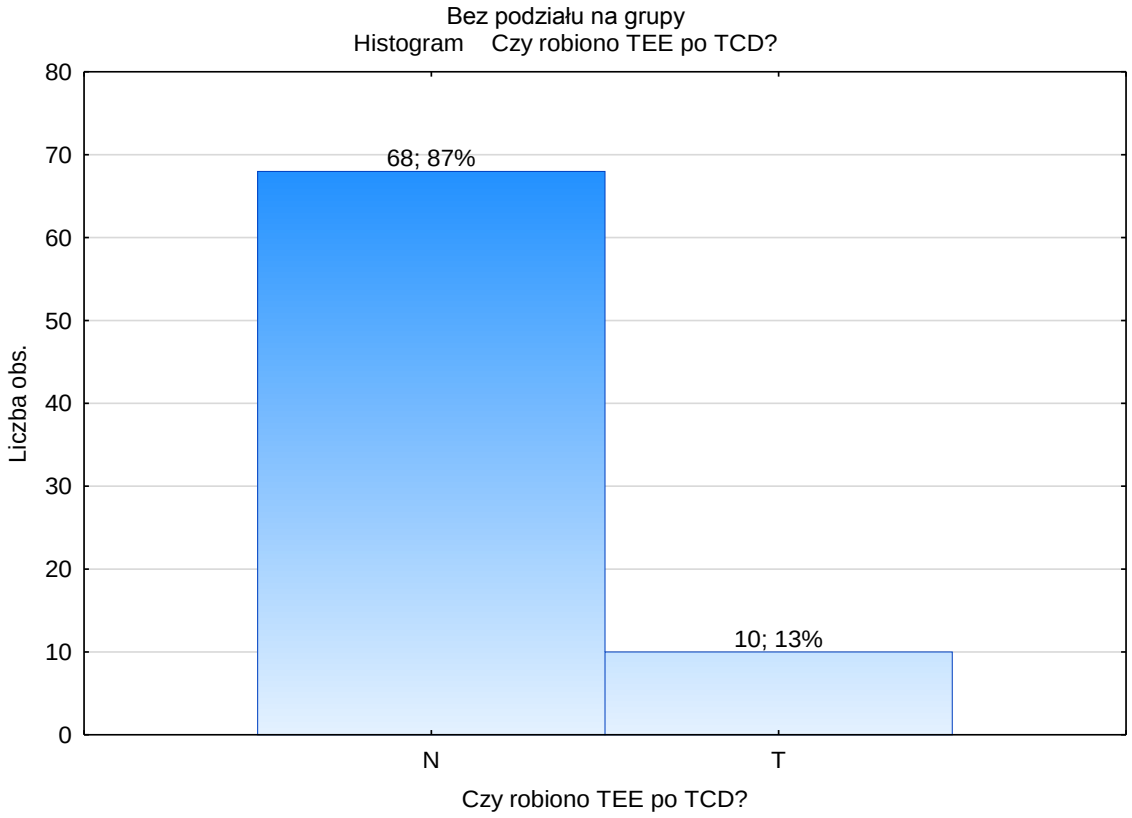
Ryc.18

Ilość i odsetek badań echokardiografii przezprzełykowej wykonanych po badaniu cTCD w postaci histogramu z uwzględnieniem podziału na grupy.



Ryc.19

Ilość i odsetek badań echokardiografii przezprzełykowej wykonanych po badaniu cTCD bez podziału na grupy.



5.13 Ilość zgłoszonych przez nurków epizodów choroby dekompresyjnej w korelacji do wykazanego w cTCD przecieku żylno – tętniczego oraz PFO wykrytego w kontrolnym cTEE (Tab. 17).

Tab.17

Rodzaj objawów DCS	Ilość zgłoszonych przez nurków epizodów choroby dekompresyjnej w korelacji do wykazanego w cTCD przecieku żylno – tętniczego oraz PFO wykrytego w kontrolnym cTEE			
	Ilość zgłoszonych przypadków DCS	Stopień przecieku żylno tętniczego	Ilość wykazanych RLS	PFO obecne w kontrolnym TEE
Bóle mięśni i stawów	5	Brak	4	-
		Minimalny	0	-
		Umiarkowany	0	-
		Znaczny	1	1
Objawy przedsionkowe	2	Brak	1	0
		Minimalny	0	-
		Umiarkowany	1	1
		Znaczny	0	-
Objawy ogólne	1	Brak	1	-
		Minimalny	0	-
		Umiarkowany	0	-
		Znaczny	0	-
Objawy skórne	3	Brak	0	-
		Minimalny	1	-
		Umiarkowany	1	1
		znaczny	0	-
Objawy neurologiczne	1	Brak	0	-
		Minimalny	0	-
		Umiarkowany	1	1
		Znaczny	0	-
Łącznie	12			

W odpowiedzi na badanie ankietowe łącznie 12 nurków zgłosiło pojawiające się po nurkowaniu różnego rodzaju objawy choroby dekompresyjnej.

Spośród 5 nurków, którzy zgłosili wystąpienie w przeszłości objawów typu „bends" z bólami mięśni i stawów, u jednego z nich wykryto dużego stopnia RLS potwierdzony następnie w echokardiografii przezprzełykowej.

Objawy skórne o typie skóry marmurkowatej występowały u trzech nurków, u dwóch z nich wykryto RLS, u jednego z nich przeciek stopnia minimalnego, który nie został potwierdzony w TEE. U drugiego nurka przeciek średniego stopnia potwierdzony został w TEE.

Objawy przedsionkowe występowały u dwóch spośród badanych przez mnie nurków, u jednego z nich wykryto średniego stopnia RLS potwierdzony badaniem TEE.

Niecharakterystyczne objawy ogólnego zmęczenia i złego samopoczucia podawał jeden nurek. Nie wykryto u niego przecieku żylno tętniczego i nie wykonywano TEE.

5.14 Ilość i odsetek nurków ze stwierdzonym PFO, zakwalifikowanych do endowaskularnego zamknięcia przetrwałego otworu owalnego w Klinice Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego (Tab. 18).

Tab.18

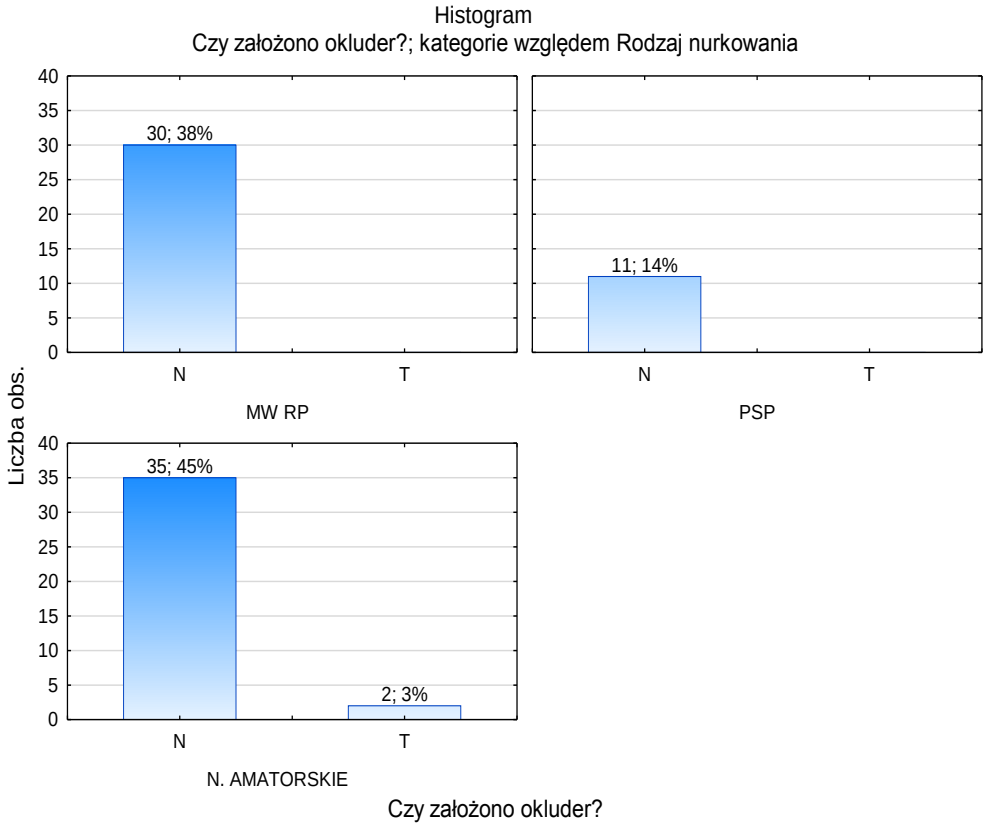
	Ilość i odsetek nurków ze stwierdzonym PFO, zakwalifikowanych do endowaskularnego zamknięcia przetrwałego otworu owalnego	
	Ilość badanych nurków	Ilość zakwalifikowanych do zamknięcia PFO
MW RP		
Ilość	30	0
Odsetek	38,46%	0%
Państwowa Straż Pożarna		
Ilość	11	0
Odsetek	14,10%	0%
Nurkowanie amatorskie		
Ilość	37	2
Odsetek	47,44%	5,41%
Razem		
Ilość	78	2
Odsetek	100%	2,56%

Po przeprowadzonej kwalifikacji w Klinice Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, spośród całej grupy badanych nurków, u dwóch z nich (nurków amatorów) wykonano endowaskularne zamknięcie przetrwałego otworu owalnego przy pomocy zapinki typu Amplatzer,

Łącznie do leczenia endowaskularnego zakwalifikowano 2,56% wszystkich badanych nurków.

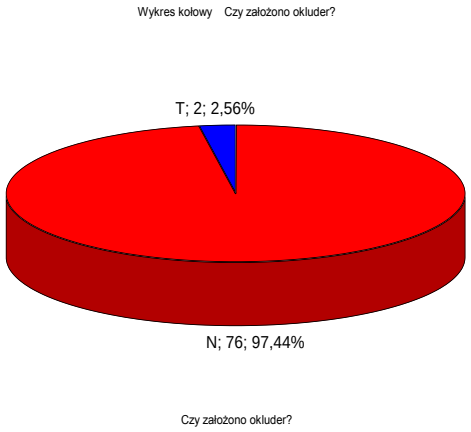
Ryc. 20

Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość nurków z obecnością PFO, u których wykonano przezskórne zamknięcie PFO przy pomocy okludera.



Ryc. 21

Wykres podsumowujący przedstawiający ilość nurków z obecnością PFO,u których wykonano przezskórne zamknięcie PFO przy pomocy okludera.



5.15 Statystyki opisowe dotyczące wartości średnich dla wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania dla poszczególnych grup nurków (Tab. 19-20).

Tab. 19

	Nurkowie Marynarki Wojennej							
	Ilość nurków	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Odchylenie standardowe
Wiek	30	34,6000	34,5000	21,0000	61,0000	26,0000	39,0000	10,41418
Masa ciała	30	84,8000	82,5000	68,0000	120,0000	80,0000	88,0000	9,85201
Wzrost	30	178,1667	179,0000	167,0000	190,0000	175,0000	180,0000	5,48404
BMI	30	26,7552	26,1367	22,9854	41,5225	24,9680	28,0816	3,41069
Lata nurkowania	30	8,1667	6,0000	1,0000	30,0000	2,0000	12,0000	7,05683

Tab. 20

	Nurkowie Państwowej Straży Pożarnej							
	Ilość nurków	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl.	Górny Kwartyl.	Odchylenie standardowe
Wiek	11	35,1818	34,0000	29,0000	41,0000	31,0000	40,0000	4,33170
Masa ciała	11	84,5455	87,0000	65,0000	110,0000	76,0000	92,0000	12,40454
Wzrost	11	177,3636	178,0000	164,0000	193,0000	170,0000	186,0000	8,90250
BMI	11	26,7675	26,2976	24,1672	30,4498	24,6181	29,3962	2,30966
Lata nurkowania	11	8,5455	10,0000	3,0000	13,0000	6,0000	10,0000	2,94495

Tab. 21

	Nurkowie amatorzy							
	Ilość nurków	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl.	Górny Kwartyl.	Odchylenie standardowe
Wiek	37	41,4865	43,0000	28,00000	66,0000	36,0000	44,0000	7,10095
Masa ciała	37	79,5405	82,0000	50,00000	135,0000	66,0000	91,0000	19,14940
Wzrost	37	172,3784	175,0000	76,00000	193,0000	170,0000	184,0000	18,72513
BMI	37	29,0952	24,9135	18,68512	157,5485	23,2356	28,7347	22,10806
Lata nurkowania	37	8,3243	6,0000	1,00000	34,0000	2,0000	10,0000	8,41973

5.16 Analiza statystyczna różnic wieku, masy ciała wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania między poszczególnymi grupami nurków przy pomocy testu Kruskala-Wallisa (Tab. 22).

Wykorzystując test Kruskala-Wallisa poddano analizie zmienne w poszczególnych grupach nurków (wiek, masa ciała, wzrost, BMI, ilość lat nurkowania).

Po przeprowadzonej analizie wykazano istotną statystycznie różnicę w średniej wieku miedzy nurkami MW RP a nurkami amatorami oraz między nurkami straży pożarnej oraz nurkami amatorami.

Dla pozostałych zmiennych (waga wzrost, BMI, ilość lat nurkowania) nie wykazano istotnych statystycznie różnic między poszczególnymi grupami nurków.

Na poziomie $p<0,0009$ istnieje istotna statystycznie różnica w średniej wieku miedzy nurkami MW RP i nurkami amatorami. Średnia wieku u nurków amatorów jest większa (41,49±7,10) niż u nurków MW RP (34,60±10,41).

Na poziomie $p<0,025$ istnieje istotna statystycznie różnica w średniej wieku miedzy nurkami amatorami i nurkami Straży Pożarnej. Średnia wieku u nurków amatorów jest większa (41,49±7,10)) niż u nurków Straży Pożarnej (35,18±4,33).

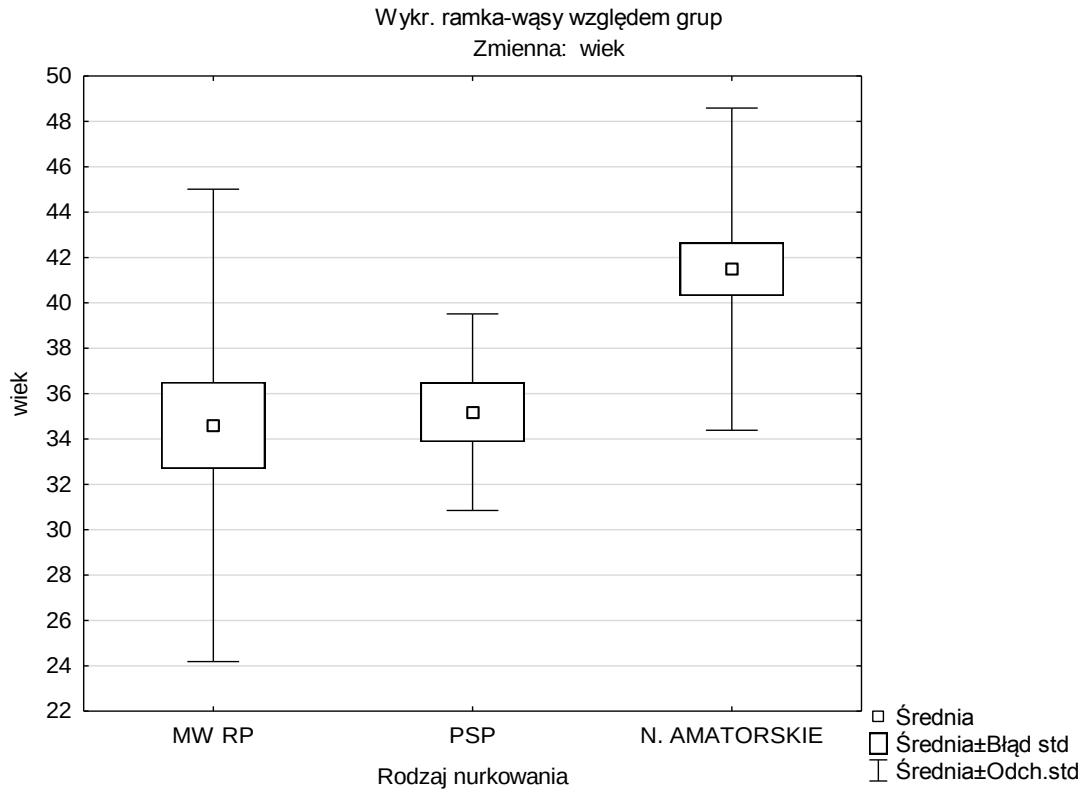
Tab.22

Wynik testu Kruskala –Wallisa oceniający różnice statystyczne między poszczególnymi grupami nurków w zależności od wieku

Zależna: wiek	Wartość p dla porównań wielokrotnych (dwustronnych); wiek (Lista badań v2) Zmienna niezależna (grupująca): Rodzaj nurkowania Test Kruskala-Wallisa: H (2, N= 78) =15,54943 p =,0004		
	Nurkowie Marynarki Wojennej R:30,017	Nurkowie Straży Pożarnej R:29,591	Nurkowanie amatorskie R:50,135
Nurkowie Marynarki Wojennej	-	1,000000	0,000906
Nurkowie Straży Pożarnej	1,000000	-	0,024875
Nurkowie amatorzy	0,000906	0,024875	-

Ryc. 22

Wykres ramka – wąs przedstawiający wyniki testu Kruskala – Wallisa.



5.17 Analiza w podziale na stopień przecieku żylno - tętniczego dla poszczególnych grup nurków w zależności od zmiennych - wiek, masa ciała, wzrost, BMI, lata nurkowania (Tab.23).

Tab.23

Analiza w podziale na stopień przecieku żylno - tętniczego w badaniu TCD w zależności od wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i lat nurkowania dla nurków Marynarki Wojennej RP.

Zmienna	Statystyka opisowa zmiennych Nurkowie Marynarki Wojennej					
	N ważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standard.
Brak RLS						
wiek	22	**32,7273**	33,0000	21,0000	61,0000	10,39772
masa ciała	22	84,8182	82,0000	68,0000	120,0000	10,96156
wzrost	22	178,7727	179,5000	170,0000	190,0000	5,81404
BMI	22	26,5787	25,8679	22,9854	41,5225	3,74660
Lata nurkowania	22	**7,4545**	6,0000	1,0000	30,0000	6,91256
Minimalny RLS						
wiek	5	**35,2000**	34,0000	27,0000	43,0000	6,723095
masa ciała	5	85,8000	86,0000	80,0000	95,0000	5,974948
wzrost	5	175,4000	177,0000	167,0000	179,0000	4,979960
BMI	5	27,9498	28,0816	24,9680	31,1951	2,584526
Lata nurkowania	5	**8,2000**	8,0000	1,0000	20,0000	7,628892
Umiarkowany RLS						
wiek	2	**43,5000**	43,5000	39,0000	48,0000	6,36396
masa ciała	2	82,0000	82,0000	74,0000	90,0000	11,31371
wzrost	2	177,5000	177,5000	175,0000	180,0000	3,53553
BMI	2	25,9705	25,9705	24,1633	27,7778	2,55585
Lata nurkowania	2	**12,5000**	12,5000	5,0000	20,0000	10,60660
Znaczny RLS						
wiek	1	**55,0000**	55,0000	55,0000	55,0000	
masa ciała	1	85,0000	85,0000	85,0000	85,0000	
wzrost	1	180,0000	180,0000	180,0000	180,0000	
BMI	1	26,2346	26,2346	26,2346	26,2346	
Lata nurkowania	1	**15,0000**	15,0000	15,0000	15,0000	

W grupie nurków Państwowej Straży Pożarnej oraz w grupie nurków amatorów nie wykazano żadnych korelacji statystycznych pomiędzy stopniem nasilenia przecieku żylno – tętniczego a poszczególnymi zmiennymi – wiekiem, masą ciała, współczynnikiem BMI oraz latami nurkowania.

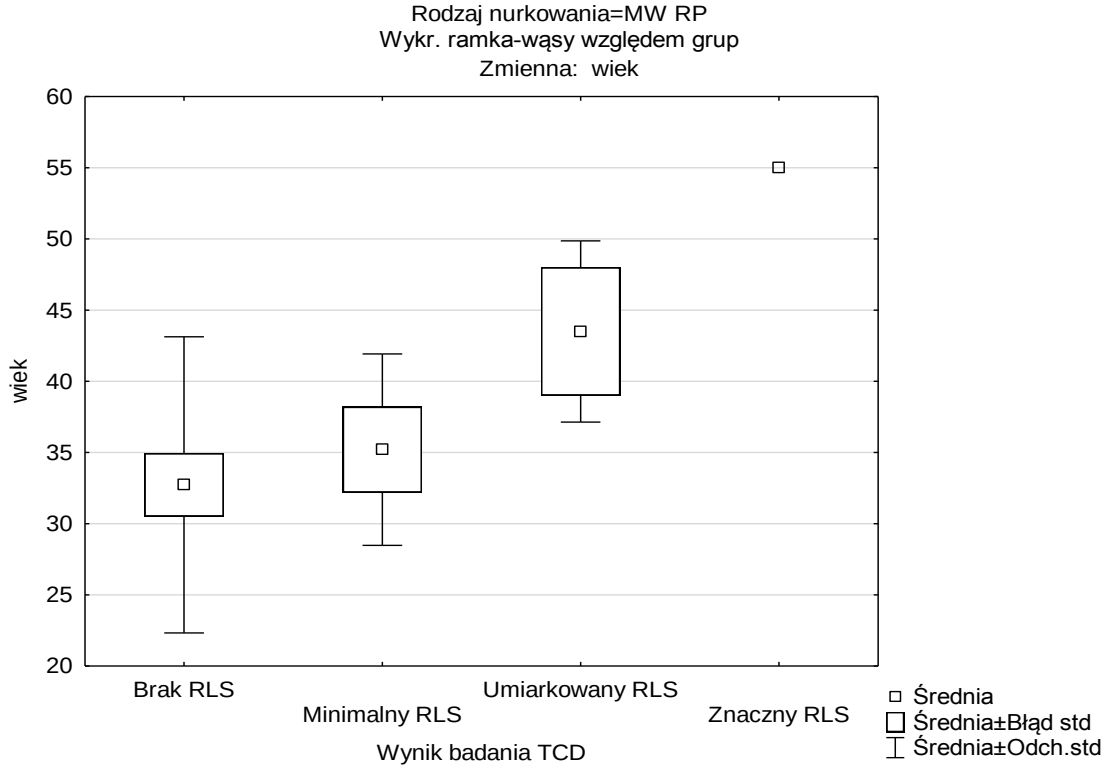
W grupie nurków MW RP obserwowano natomiast wzrost stopnia RLS w zależności od wieku nurków oraz od długości nurkowania – stopień nasilenia zwiększał się wraz z wiekiem i ilością lat nurkowania, różnice te nie były jednak istotne statystycznie.

W grupie nurków MW RP, u których nie wykazano obecności RLS, średni wiek wynosił 32,73 lata, w grupie z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym średni wiek to 35,2 lata, a w grupach z umiarkowanym i znacznym przeciekiem żylno tętniczym średni wiek wynosił odpowiednio 43,5 i 55 lat.

W grupie nurków MW RP, u których nie wykazano obecności RLS, badani nurkowali średnio 7,45 lat, w grupie z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym było to już 8,2 roku, a w grupach z umiarkowanym i znacznym przeciekiem żylno tętniczym nurkowano średnio 12,5 lat i 15 lat.

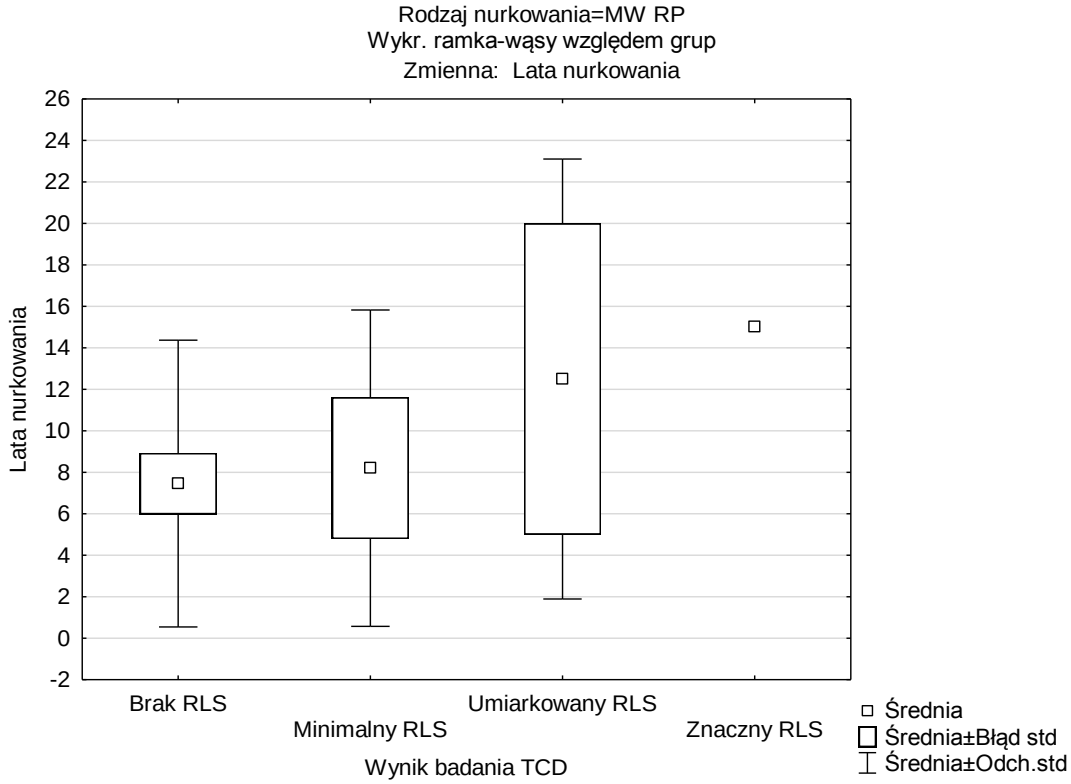
Ryc.23

Wykres ramka – wąs przedstawiający zależność stopnia przecieku żylno – tętniczego od wieku w grupie nurków Marynarki Wojennej.



Ryc.24

Wykres ramka – wąs przedstawiający zależność stopnia przecieku żylno – tętniczego od lat nurkowania w grupie nurków Marynarki Wojennej.



5.18 Porównanie efektywności poszczególnych metod (echokardiografia przezklatkowa, echokardiografia przezprzełykowa i TCD z podawaniem kontrastu dożylnie) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków (Tab. 24-26) .

W celu stwierdzenia efektywności poszczególnych metod diagnostycznych w wykrywaniu obecności przecieku żylno -tętniczego, analizie poddano wyniki badań jedynie tych nurków, u których wykonano wszystkie trzy badania – echokardiografię przezklatkową, TCD z kontrastem oraz echokardiografię przezprzełykową wykonaną w celu weryfikacji stwierdzonego w cTCD przecieku żylno – tętniczego.

Grupa obejmowała 6 nurków służących w jednostkach Marynarki Wojennej oraz 1 nurka cywilnego

Żaden z nurków Państwowej Straży Pożarnej nie miał wykonanych badań wszystkimi trzema metodami.

Analizę efektywności poszczególnych metod prowadzono testem Q Cochrane'a.

Przyjęto:

0 – nie wykryto/nie potwierdzono RLS / PFO;

1 - wykryto/potwierdzono RLS / PFO;

W kolumnie „Suma" podano ilość pozytywnych przypadków (wykryto/potwierdzono RLS/PFO). W dwóch kolejnych kolumnach, odpowiednio - procentowy udział ilości przypadków negatywnych i pozytywnych.

Tab. 24

Efektywność poszczególnych metod w całej analizowanej grupie.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:7 Q = 12,28571, df = 2, p < ,002149		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy w TTE wykryto obecność PFO	0,000000	100,0000	0,0000
Czy w cTCD wykryto RLS	7,000000	0,0000	100,0000
Czy w TEE potwierdzono PFO	1,000000	85,7143	14,2857

Na wysokim poziomie istotności (p=0,002) można stwierdzić istotną statystycznie różnicę w odsetku pozytywnych przypadków u nurków w zależności od zastosowanej metody. Najmniej skuteczną metodą diagnostyczną wykrywającą obecność PFO z przeciekiem prawo – lewo jest echokardiografia przezklatkowa, która nie wykazała PFO u żadnego analizowanego nurka.
Spośród 7 pacjentów badanych metodą TCD, u wszystkich wykazano obecność różnego stopnia przecieku prawo – lewo.
Wykonana po badaniu cTCD echokardiografia przezprzełykowa potwierdziła obecność przetrwałego otworu owalnego u 1 nurka , co stanowi 14,3 % przypadków.

Tab. 25

Efektywność poszczególnych metod w grupie nurków Marynarki Wojennej.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:6 Q = 10,33333, df = 2, p < ,005704		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy w TTE wykryto obecność PFO	0,000000	100,0000	0,0000
Czy w cTCD wykryto RLS	6,000000	0,0000	100,0000
Czy w TEE potwierdzono PFO	1,000000	83,3333	16,6667

Na wysokim poziomie istotności (p=0,006) można stwierdzić istotną statystycznie różnicę w odsetku pozytywnych przypadków u nurków MW RP w zależności od zastosowanej metody. Najmniej skuteczną metodą diagnostyczną mającą na celu wykazanie obecności PFO z przeciekiem żylno - tętniczym jest echokardiografia przezklatkowa, która nie wykryła PFO u żadnego analizowanego nurka.
Spośród 6 pacjentów badanych metodą TCD, u wszystkich wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno - tętniczego.
Wykonana po badaniu cTCD echokardiografia przezprzełykowa potwierdziła obecność przetrwałego otworu owalnego u 1 nurka , co stanowi 16,7 % przypadków.

Tab. 26

Efektywność poszczególnych metod w grupie nurków amatorów.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:1 Q = 2,000000, df = 2, p < ,367881		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy w TTE wykryto obecność PFO	0,000000	100,0000	0,0000
Czy w cTCD wykryto RLS	1,000000	0,0000	100,0000
Czy w TEE potwierdzono PFO	0,000000	100,0000	0,0000

Na poziomie istotności p=0,37 nie można stwierdzić istotnych statystycznie różnić w odsetku pozytywnych przypadków u nurków w zależności od zastosowanej metody w grupie nurków amatorów.

5.19 Porównanie efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków (Tab. 27 - 29).

W celu porównania efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków, analizie poddano wyniki badań jedynie tych nurków, u których wykonano zarówno TCD z kontrastem oraz echokardiografię przezklatkową.

Grupa obejmowała 30 nurków służących w jednostkach Marynarki Wojennej oraz 7 nurków cywilnych.

Żaden z nurków Państwowej Straży Pożarnej nie miał wykonanej echokardiografii przezklatkowej.

Analizę efektywności poszczególnych metod prowadzono testem Q Cochrane'a.

Przyjęto:

0 – nie wykryto RLS / PFO

1 - wykryto RLS / PFO

W kolumnie „Suma" podano ilość pozytywnych przypadków (wykryto/potwierdzono RLS/PFO). W dwóch kolejnych kolumnach, odpowiednio - procentowy udział ilości przypadków negatywnych i pozytywnych.

Tab. 27

Porównanie efektywności cTCD oraz TTE w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków Marynarki Wojennej oraz nurków amatorów.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:37 Q = 9,000000, df = 1, p < ,002700		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy wykryto obecność PFO /RLS w TTE	0,000000	100,0000	0,00000
Czy wykryto RLS w cTCD	9,000000	75,6757	24,32432

Na wysokim poziomie istotności p=0,003 istnieje istotna statystycznie różnica miedzy odsetkiem wykrytych przypadków pozytywnych dla zastosowanych metod.

Zdecydowanie więcej przypadków RLS wykrywa metoda cTCD w stosunku do TTE, która nie wykryła żadnego przypadku przecieku żylno – tętniczego przez PFO.

Tabl. 28

Porównanie efektywności cTCD oraz TTE w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków Marynarki Wojenne.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:30 Q = 8,000000, df = 1, p < ,004678		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy wykryto obecność PFO /RLS w TTE	0,000000	100,0000	0,00000
Czy wykryto RLS w cTCD	8,000000	73,3333	26,66667

Na poziomie istotności p=0,005 istnieje istotna statystycznie różnica miedzy odsetkiem wykrytych przypadków pozytywnych dla zastosowanych metod w grupie MW RP.

Zdecydowanie więcej przypadków RLS wykrywa metoda TCD w stosunku do TTE, która nie wykryła żadnego przypadku przecieku żylno – tętniczego przez PFO.

Tabl. 29

Porównanie efektywności cTCD oraz TTE w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków amatorów.

Zmienna	Test Q Cochrana Liczba ważnych przyp.:7 Q = 1,000000, df = 1, p < ,317311		
	Suma	Procent 0	Procent 1
Czy wykryto obecność PFO /RLS w TTE	0,000000	100,0000	0,00000
Wynik TCD	1,000000	85,7143	14,28571

Na poziomie istotności p=0,37 nie można stwierdzić istotnych statystycznie różnić w odsetku pozytywnych przypadków dla zastosowanych metod w grupie nurków amatorów.

6 Dyskusja

6.1 Główny cel badania.

Głównym celem badania prowadzonego w ramach pracy doktorskiej było oszacowanie częstości występowania przecieku żylno – tętniczego (RLS, right - to -left shunt) u nurków służb mundurowych (wojskowych i funkcjonariuszy MSWiA) oraz nurków amatorów. W tym celu wykonano badania u 78 nurków, w tym w tym 30 żołnierzy zawodowych, 11 strażaków Państwowej Straży Pożarnej oraz 37 nurków amatorów.

W wykonanych przy pomocy cTCD badaniach, różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykazano u 16 spośród 78 badanych nurków – łącznie u 20,5% wszystkich badanych. Najwięcej pozytywnych wyników na obecność RLS było w grupie nurków Państwowej Straży Pożarnej - 27,27%, druga w kolei była grupa nurków z jednostek Marynarki Wojennej, gdzie przeciek żylno – tętniczy wykazano u 26,67% nurków, a najmniejszą grupę stanowili nurkowie amatorzy RLS wykryto u 5 osób spośród 37 badanych, co stanowiło 13,51% z badanej grupy.

W rozbiciu na stopień przecieku, przy wykorzystaniu cTCD, u 6 nurków wykryto przeciek minimalny (7,69%), u 9 z nich umiarkowanego stopnia RLS (11,54%) a u jednego stwierdzono przeciek żylno – tętniczy znacznego stopnia, co stanowiło 1,28% wszystkich nurków.

Analizując stopień przecieku żylno – tętniczego w poszczególnych grupach nurków, minimalny przeciek prawo – lewo stwierdzono u pięciu nurków MW RP oraz u jednego nurka Państwowej Straży Pożarnej. W grupie nurków amatorów przeciek minimalny nie występował.

Umiarkowanego stopnia RLS wykazano u dwóch nurków wojskowych, jednego nurka PSP oraz pięciu nurków amatorów.

W przypadku przecieku żylno – tętniczego znacznego stopnia, wykryto go jedynie u jednego nurka wojskowego.

Samo wykazanie przecieku prawo – lewo przy pomocy sonografii dopplerowskiej z kontrastem nie daje możliwości precyzyjnej lokalizacji przecieku żylno – tętniczego, mówi jedynie o tym, że część podawanego dożylnie kontrastu przedostaje się z układu żylnego do krążenia tętniczego, w tym do tętnic mózgowych. Chociaż w większości przypadków do przecieku żylno – tętniczego dochodzi na poziomie przegrody międzyprzedsionkowej (poprzez przetrwały otwór owalny lub ubytek przegrody międzyprzedsionkowej), krew żylna może bezpośrednio mieszać się z krwią tętniczą także na poziomie płuc poprzez wrodzone lub nabyte przetoki tętniczo – żylne w krążeniu płucnym [24, 75, 78].

Przy pomocy przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej możliwa jest ocena spektrum i kierunku przepływu w naczyniach krwionośnych, do czego wykorzystywany jest efekt dopplera. TCD może również wykryć cechy mikrozatorowości, a również obecność pęcherzyków gazu w naczyniach krwionośnych. Badanie to nie pozwala natomiast na zobrazowanie struktur przegrody międzyprzedsionkowej w sercu [79, 94 - 97].

Aby określić możliwą lokalizację wykrytego w sonografii przezczaszkowej przecieku żylno – tętniczego, poddano analizie odpowiedzi z ankiety dotyczące wykonanych przez nurków przed badaniem cTCD badań radiologicznych płuc, echokardiografii przezklatkowej i przezprzełykowej (zał. nr 3) oraz wyniki zaleconej u nurków z wykrytym RLS kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej.

6.1.1 Płucne malformacje tętniczo – żylne.

Malformacje tętniczo-żylne płuc powstają w wyniku tworzenia się nieprawidłowych połączeń między tętnicami płucnymi a żyłami płucnymi [93, 94, 98 - 102]. Połączenia te zwykle mają charakter wrodzony. Płucne malformacje tętniczo żylne są zmianami bardzo rzadko występującymi. Analizując retrospektywnie badania tomografii komputerowej płuc wykonanej u 21,235 chorych z rakiem płuc, Nakayama zidentyfikował jedynie 8 chorych z płucną malformacją tętniczo – żylną, szacując występowanie PAVM w badanej populacji na 38 na 100 000 [101]. W materiale zebranym przez Sloana, w 15000 kolejnych sekcji wykonanych w szpitalu Johna Hopkinsa, w obrębie płuc wykryto jedynie 3 przypadki malformacji tętniczo żylnych. [102]. Z kolei Dines ze współpracownikami opublikowali dwa raporty, w których zidentyfikowali jedynie 68 [103] oraz 38[104] przypadków płucnych malformacji tętniczo – żylnych wśród wszystkich chorych leczonych w okresie 25 lat w Majo Clinic.

Diagnostyka płucnych malformacji tętniczo – żylnych opiera się na badaniu RTG oraz TK klatki piersiowej, a złotym standardem w diagnostyce i podejmowaniu decyzji o leczeniu zabiegowym pozostaje angiografia tętnic płucnych [94, 97-105]. W przeglądowym RTG klatki piersiowej ponad 98% PAVM obrazuje się jako jeden lub kilka okrągłych lub owalny guzków o średnicy 1-5 cm widocznych na tle prawidłowego miąższu płucnego [98, 105]. Znacznie dokładniejsza w wykrywaniu malformacji tętniczo – żylnych w obrębie płuc jest tomografia komputerowa z kontrastem, która umożliwia precyzyjną ocenę wielkości i umiejscowienie zmiany w obrębie płata lub segmentu płuca [98].

Przetoki tętniczo-żylne w obrębie płuc są źródłem przecieku żylno - tętniczego z tętnic płucnych do żył płucnych. W zależności od wielkości, obraz kliniczny płucnych malformacji tętniczo – żylnych może być bardzo zróżnicowany – u części chorych występować może ciężka wada sinicza i niewydolność oddechowa, liczni chorzy zgłaszają kaszel, duszności, krwioplucie oraz zawroty głowy. Z drugiej strony, u wielu pacjentów nie obserwuje się żadnych objawów [98, 106]. Ilość przypadków bezobjawowych PAVM Tellapuri szacuje na 50% [100] a Tang ilość pacjentów bez dolegliwości ocenia na 60% [107].

Powikłaniem przecieku żylno – tętniczego poprzez PAVM może być zatorowość skrzyżowana prowadząca do udarów i ropni mózgu [94, 98, 105]. W ostatnich kilkunastu latach podkreśla się również prawdopodobne znaczenie płucnych przetok tętniczo – żylnych w etiologii niektórych postaci choroby dekompresyjnej. Przeciek powstających w czasie dekompresji pęcherzyków gazu z układu żylnego do tętniczego na poziomie płuc prowadzić może do wystąpienia choroby dekompresyjnej z objawami skórnymi (skóra marmurkowata), przedsionkowymi (układowe zawroty głowy) oraz z objawami z ośrodkowego układu nerwowego (ciężka, neurologiczna postać choroby dekompresyjnej) [108 -112]. Przedostawanie się pęcherzyków gazu z układu żylnego do tętniczego w czasie dekompresji nie zawsze jednak musi prowadzić do rozwoju choroby dekompresyjnej. W badaniach prowadzonych przez Marinovic [113] oraz Ljubkovic[114] po nurkowaniach głębokich z wykorzystaniem Trimixu, we krwi tętniczej u badanych nurków wykryto dużą ilość pęcherzyków gazu, nurkowie nie prezentowali natomiast żadnych objawów choroby dekompresyjnej. Chociaż płucne przetoki żylno - tętnicze są bardzo rzadkie, a ich rola w etiologii choroby dekompresyjnej nie jest jednoznacznie potwierdzona, podkreśla się, że konieczna jest ich dalsza obserwacja, a zwłaszcza określenie znaczenia dla bezpieczeństwa nurkowania [109].

W celu stwierdzenia, czy w grupie nurków zakwalifikowanych do badania przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej w ramach pracy doktorskiej występują w obrębie płuc malformacje tętniczo – żylne, które mogą być potencjalnymi wrotami przecieku żylno – tętniczego, w ankiecie wypełnianej przez nurków przed badaniem cTCD umieszczono pytanie dotyczące wykonanych dotychczas badań RTG lub TK klatki piersiowej. Ankietowanych poproszono również o odpowiedź, czy w tych badaniach wykryto obecność płucnych malformacji tętniczo - żylnych.

Wszyscy ankietowani nurkowie potwierdzili, że wcześniej wykonano u nich badania radiologiczne klatki piersiowej - zazwyczaj zlecane były one przez lekarza Medycyny Pracy lub, w przypadku nurków wojskowych, znajdowały się w pakiecie badań wymaganych przez Wojskową Komisję Morsko – Lekarską. U żadnego z nurków badania te nie wykazały obecności płucnych malformacji tętniczo- żylnych.

Do powyższych rozważań należy dodać, że wszyscy badani nurkowie czynnie nurkowali a żaden z nich nie zgłaszał jakichkolwiek dolegliwości ze strony układu oddechowego oraz układu krążenia. Nurkowie wojskowi poddawani byli corocznym badaniom w ramach Wojskowej Komisji Morsko – Lekarskiej a nurkowie Państwowej Straży Pożarnej byli regularnie badani przez lekarza orzecznika Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji w ramach badań Medycyny Pracy.

Biorąc pod uwagę fakt, że 98% malformacji tętniczo – żylnych widocznych jest w przeglądowym RTG lub TK klatki piersiowej [98, 105] a u żadnego z nurków nie występowały objawy przecieku żylno – tętniczego na poziomie płuc (przewlekły kaszel, duszności, zawroty głowy, niedokrwistość, krwioplucie czy sinica) [98], z dużym prawdopodobieństwem można założyć, że wykazany u 16 spośród 78 badanych nurków przeciek żylno – tętniczy miał pochodzenie pozapłucne.

6.1.2 Przeciek żylno – tętniczy na poziomie przegrody międzyprzedsionkowej.

W wykonanych przy pomocy cTCD badaniach, różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykazano u 16 spośród 78 badanych nurków – łącznie u 20,5% wszystkich badanych.

Zakładając, że u żadnego z badanych nurków nie wykryto w badaniach radiologicznych płuc cech płucnych malformacji tętniczo żylnych a nurkowie Ci negowali jakiekolwiek dolegliwości mogące świadczyć o RLS na poziomie płuc, można założyć, że stwierdzony w cTCD przeciek żylno – tętniczy zlokalizowany był na wysokości serca, prawdopodobnie poprzez PFO lub ubytek przegrody międzyprzedsionkowej (ASD).

W celu potwierdzenia obecności RLS na poziomie przegrody międzyprzedsionkowej, nurkom z wykrytym przy pomocy cTCD przeciekiem żylno – tętniczy zalecono wykonanie w trybie ambulatoryjnym echokardiografii przezprzełykowej. W celu uzyskania wyniku TEE, kontaktowano się z nurkami drogą telefoniczną pół roku po przeprowadzonym badaniu cTCD. Spośród wszystkich 16 nurków, u których w przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno – tętniczego, badanie TEE wykonało 10 osób, co stanowi 62,5% osób z RLS. W echokardiografii przezprzełykowej obecność przetrwałego otworu owalnego potwierdzono u 4 osób spośród 10 badanych nurków, co stanowi 40% nurków badanych tą metodą. U 3 nurków spośród 10, u których wykonano kontrolne badanie TEE, w badaniu TCD obecny był minimalny RLS, umiarkowanego stopnia

przeciek żylno tętniczy wykryto u sześciu nurków, a u jednego z nich stwierdzono przeciek żylno – tętniczy znacznego stopnia.

W wykonanej po badaniu TCD kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej, u żadnego z nurków z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym nie potwierdzono obecności przetrwałego otworu owalnego. Spośród 6 nurków z umiarkowanego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym, obecność PFO potwierdzono u 3 z nich. U nurka ze znacznego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym, w echokardiografii przezprzełykowej potwierdzono obecność przetrwałego otworu owalnego.

U żadnego z badanych nurków nie wykazano przy pomocy TEE innej patologii serca, zwłaszcza obecności ubytku ściany międzyprzedsionkowej ASD II.

6.1.3 Analiza częstości występowania PFO w populacji.

W wykonanych przeze mnie badaniach, różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykazano u 20,5 % wszystkich nurków. Biorą pod powyższe analizy dotyczące występowania płucnych malformacji tętniczo - żylnych u badanych przez mnie nurków, przeciek zlokalizowany jest u nich na poziomie serca, co oznacza, że wynik mojego badania niemal pokrywa się z obserwacjami Lyncha dotyczącymi częstości występowania przecieku żylno – tętniczego poprzez przegrodę międzyprzedsionkową w zdrowej populacji. Wykorzystując kontrastową echokardiografię przezklatkową, w grupie 80 zdrowych ochotników w wieku 18-35 lat, u których nie stwierdzono wcześniej ewidentnej patologii sercowo – naczyniowej, wykazał on spoczynkowy przeciek prawo – lewo poprzez przegrodę międzyprzedsionkową u 5% badanych, podczas gdy w czasie wykonywania próby Valsalvy odsetek ten rósł do 18%. [115].

W analizie piśmiennictwa dokonanym przez Koutroulou, częstość wykrywania PFO w badaniach sekcyjnych wynosi 24,2%, przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej PFO diagnozuje się u 23,7% pacjentów, echokardiografia przezklatkowa wykrywa PFO w 14,7% przypadków podczas gdy przy pomocy kontrastowego Dopplera przezczaszkowego (cTCD) PFO obecne jest w 31,3% badań. [24]. W pracach analizujących wyniki autopsji określano nie tylko częstość, ale również wymiary przetrwałego otworu owalnego w badanej populacji. W 1930 roku Thompson i Evans wykryli obecność niewielkiego PFO o średnicy 0,2cm do 0,9cm w 29% sekcji a w kolejnych 6% obecny był przetrwały otwór owalny o średnicy większej - 0,6cm do 1 cm [25]. W kolejnym badaniu Hagen stwierdził obecność PFO w 27,3% autopsji, ze średnicą sięgającą od 1mm do 19mm (średnio 4,9mm). W materiałach sekcyjnych wykazał on częstsze występowanie PFO u młodszych ludzi, podczas gdy większe otwory owalne wykrywano w wieku starszym. Autor postawił hipotezę, że zmniejszająca się wraz z wiekiem wykrywalność PFO może wynikać z tego, że mniejsze otwory owalne spontanicznie zamykają się wraz ze starzeniem organizmu, prawdopodobnie na podłożu włóknienia zastawki otworu owalnego. Z drugiej strony, większe otwory owalne pozostają drożne i mogą wręcz powiększać się wraz z upływem lat [26].

6.1.4 Zalecenia dotyczących diagnostyki przetrwałego otworu owalnego.

W momencie rozpoczynania przeze mnie badań związanych z obecną pracą doktorską, za złoty standard w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego uważana była kontrastowa echokardiografia przezprzełykowa (cTEE) [67–70], umożliwiająca dokładne zobrazowanie struktur przegrody przedsionkowej a po dożylnym podaniu kontrastu mogąca ujawnić przeciek

prawo – lewo poprzez przetrwały otwór owalny. Wprowadzenie sondy echokardiograficznej do przełyku pozwala wyeliminować trudności i artefakty związane z tuszą pacjenta czy obecnością struktur kostnych klatki piersiowej (mostek i żebra), które napotkać można w czasie wykonywania echokardiografii przezklatkowej. W pracach, które były podstawą do powyższych zaleceń podkreślano wysoką, sięgającą niemal 100% czułość i specyficzność cTEE w wykrywaniu PFO [67–70].

Ze względu na swoją inwazyjność, echokardiografia przezprzełykowa stanowić może jednak duży dyskomfort dla badanego, obarczona jest również ryzykiem potencjalnie niebezpiecznych powikłań. Poważne powikłania będące następstwem TEE występują bardzo rzadko (0,2–0,6%) i obejmują: kurcz przełyku, perforację przełyku z zapaleniem śródpiersia, uszkodzenie strun głosowych, masywne krwawienie z guza przełyku, zaburzenia rytmu serca aż do zatrzymania krążenia włącznie oraz zgonu (mniej niż 0,01%) [71, 72]. W analizach efektywności echokardiografii przezprzełykowej w diagnostyce PFO podkreśla się również, że część przecieków żylno – tętniczych, zwłaszcza niewielkich, może być przeoczonych w TEE z powodu trudności z prawidłowym wykonaniem przez pacjenta w trakcie badania próby Valsalvy [24, 70, 73].

Kolejnym badaniem, które wykorzystywane jest w diagnostyce PFO jest echokardiografia przezklatkowa z podawanym dożylnie kontrastem. TTE tradycyjnie wykonywane jest w wielu ośrodkach we wstępnej diagnostyce przesiewowej serca. Przemawia za nim dostępność sprzętu, stosunkowo niski koszt oraz nieinwazyjność badania. Mimo wysokiej, sięgającej 99% specyficzności w wykrywaniu przecieku, ograniczeniem metody jest bardzo jej niska czułość (46%-88%) [24, 74, 75].

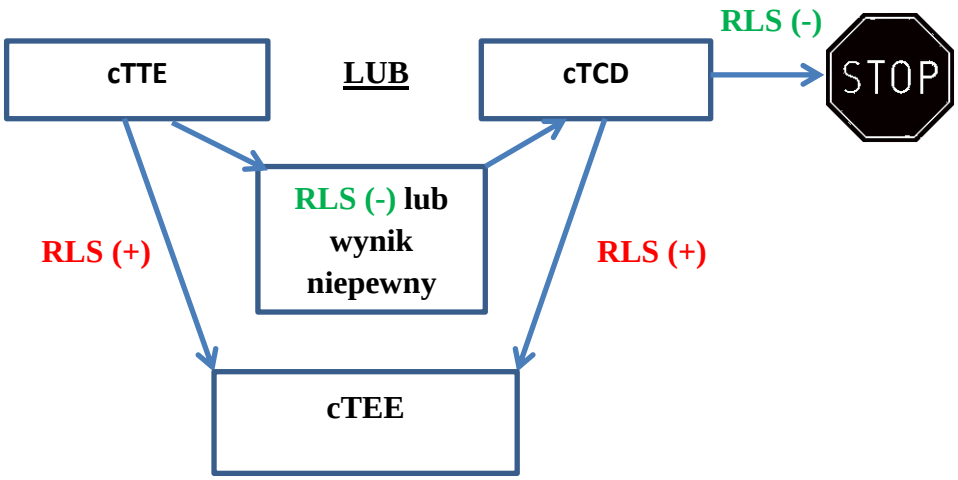
Alternatywą do echokardiografii, zarówno przezklatkowej jak i przezprzełykowej, jest dopplerowska ultrasonografia przezczaszkowa z kontrastem („ślepy doppler", Transcranial Doppler – TCD). Pierwsze urządzenia do dopplerowskiego badania tętnic wewnątrzczaszkowych stworzył i opisał w 1982 roku Rune Aaaslid [76]. Od tego czasu udowodniono przydatność TCD w diagnostyce licznych schorzeń naczyniowych układu nerwowego, włączając w to diagnostykę PFO [116]. W roku 2000 Jauss i Zanette stworzyli standard wykrywania przecieku żylno tętniczego przy pomocy sonografii dopplerowskiej [77], dzięki któremu uzyskano wzrost czułości i specyficzności metody, która z czasem stałą się porównywalną, a w niektórych sytuacjach przewyższającą echokardiografię przezprzełykową w przesiewowej diagnostyce PFO [24, 75, 78]. Ponieważ kontrastowa sonografia dopplerowska wykrywa jedynie obecność przecieku żylno - tętniczego, na jego podstawie nie jest możliwe jednoznaczne określenie jego lokalizacji, badanie to nie przynosi również informacji na temat morfologii przegrody międzyprzedsionkowej i obecności dodatkowych anomalii (np. tętniaka przegrody międzyprzedsionkowej). W przypadku dodatniego wyniku badania cTCD, ewentualną obecność PFO należy zweryfikować przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej[24, 74, 79, 117].

W ostatnich latach zmienia się podejście do diagnostyki PFO. W opublikowanych w 2019 przez Pristipino Europejskich zaleceniach dotyczących postępowania z chorymi z przetrwałym otworem owalnym [75], przedstawiono metaanalizę badań nad efektywnością kontrastowej echokardiografii przezprzełykowej, i przezklatkowej oraz kontrastowego dopplera przezczaszkowego (cTCD) w diagnostyce PFO. Z przedstawionych w pracy danych wynika, że czułość uznawanej dotychczas za „złoty standard" TEE jest znacznie niższa niż uważano poprzednio i sięga jedynie 89%. Z drugiej strony, czułość i specyficzność TCD z kontrastem w wykrywaniu przecieków żylno – tętniczych osiągnęła 94% oraz 88%, natomiast kontrastowej

echokardiografii przezklatkowej 92% oraz 82%. Dodatkowo, jak wykazał Mojadidi w przeprowadzonej w 2014 roku metaanalizie, podwyższenie punktu odcięcia dla dodatniego wyniku przecieku żylno – tętniczego z 1 do 10 mikropęcherzyków wykrytych w TCD podczas podawania kontrastu i wykonywaniu próby Valsalvy, zwiększa specyficzność metody do 100% [96]. Pristipino w swojej pracy podkreśla, że zaskakująco niska czułość cTEE wynikać może z trudności, które ma część pacjentów w wykonywaniu próby Valsalvy podczas badania przezprzełykowego, co przyczynić się może do przeoczenia części, zwłaszcza mniejszych, otworów owalnych [76, 118, 119]. Dodatkowo, oceniając pacjentów z udarem kryptogennym, u których w badaniu cTCD stwierdzono przeciek żylno – tętniczy, Tobe wykazał, że w kontrolnym badaniu TEE u chorych z RLS, u 15% z nich nie wykryto obecności PFO. Należy dodać, że wśród owych 15% potencjalnie „fałszywie dodatnich" wyników cTCD, dużego stopnia przeciek prawo – lewo stanowił aż 40% [78]. Wyniki przytoczonych powyżej prac mogą świadczyć o tym, że liczba tak zwanych „fałszywie pozytywnych" wyników przecieku żylno – tętniczego wykrywanego przy pomocy sonografii dopplerowskiej, pokrywa się w rzeczywistości z liczbą przetrwałych otworów owalnych, których obecność nie została potwierdzona w badaniu TEE ze względu na ograniczenia tej metody. W podsumowaniu zaleceń dotyczących postępowania z chorymi z podejrzeniem obecności przetrwałego otworu owalnego stwierdzono, że obecnie echokardiografia przezprzełykowa nie może być dalej uznawana za „złoty standard" w poszukiwaniu przecieków żylno – tętniczych a diagnostyka opierać się musi na komplementarnym zastosowaniu wszystkich opisanych powyżej metod diagnostycznych – kontrastowa echokardiografia przezklatkowa i cTCD jako metody przesiewowe do wykrywania przecieku prawo-lewo a echokardiografia przezprzełykowa z kontrastem do potwierdzenia obecności PFO oraz oceny morfologii przegrody międzykomorowej [75] (Ryc.25).

Ryc.25

Proponowany algorytm diagnostyczny poszukiwania przetrwałego otworu owalnego



Algorytm zaadoptowany z Pristipino, C., et al., *European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. General approach and left circulation thromboembolism. Eur Heart J, 2019. 40(38): p. 3182-3195 [75]*

6.1.5 W prowadzonych przeze mnie badaniach wykrywających obecność przecieku żylno – tętniczego przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej wykazano obecność różnego stopnia przecieku u 16 nurków spośród 78 badanych, co stanowiło 20,5% badanych. Do przecieku żylno – tętniczego dochodzić może zarówno na poziomie płuc, jak i przegrody międzyprzedsionkowej.

Przeciek żylno - tętniczy w obrębie przegrody międzyprzedsionkowej towarzyszyć może wrodzonym ubytkom przegrody międzyprzedsionkowej, do których rozwoju dochodzi w czasie życia płodowego[120] oraz występującemu w około 25% populacji przetrwałemu otworowi owalnemu [24, 25, 26].

Ubytki ściany międzyprzedsionkowej są stosunkowo częstymi wrodzonymi wadami serca, stwierdzanymi z częstością 1,6 na 1000 porodów i z 97% szansą przeżycia do wieku dorosłego [120 – 122]. Około 75% z nich stanowi ubytek przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu wtórnego (ASD II) [123-124]. Pacjenci z ASD II zwykle w dzieciństwie i w czasie dorastania nie zgłaszają żadnych dolegliwości a niepowikłane ASD II rozpoznawane jest często u osób dorosłych w wieku 30-40 lat. Typowymi objawami zmuszającymi do podjęcia diagnostyki jest nietolerancja wysiłku oraz przewlekłe zmęczenie [120-124].

W celu wykluczenia obecności bezobjawowego ubytku przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu wtórnego u badanych nurków, przeanalizowano wyniki badań echokardiograficznych, zarówno przezklatkowych jak i przezprzełykowych, które wykonano u nurków ze stwierdzonym przez mnie w sonografiii dopplerowskiej przeciekiem żylno – tętniczym.

Spośród 16 nurków, u których wykazano RLS przy pomocy sonografiii dopplerowskiej, u dziewięciu wykonano wcześniej echokardiografię przezklatkową. Echokardiografię przezprzełykową jako badanie kontrolne w celu potwierdzenia obecności PFO wykonało natomiast 10 nurków. U 7 spośród analizowanych 16 nurków wykonano zarówno echokardiografię przezklatkową jak i przezprzełykową. Łącznie – badanie TEE lub TTE wykonano u 12 nurków, co stanowiło 75% wszystkich osób ze stwierdzonym RLS..

Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że zarówno w wykonanej przed badaniem cTCD echokardiografii przezklatkowej jak i w kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej nie wykazano bezobjawowego ubytku przegrody międzyprzedsionkowej (ASD II). Nurkowie ci stanowili jednak jedynie 75% grupy ze stwierdzonym przeciekiem żylno – tętniczym. U pozostałych 25% nie wykonano badań mogących ocenić morfologię przegrody międzyprzedsionkowej oraz pozwalających wykluczyć obecność bezobjawowego ubytku przegrody międzyprzedsionkowej typu ASD II.

Po wykluczeniu obecności w badaniach radiologicznych płucnych przetok tętniczo – żylnych można założyć, że odsetek wykrytych u wszystkich badanych nurków przecieków żylno tętniczych odpowiada przeciekowi na poziomie serca.

Spośród 10 nurków z wykrytym przeciekiem żylno - tętniczym u których wykryto RLS, kontrolna echokardiografia przezklatkowa nie wykazała obecności PFO u żadnego z trzech nurków z minimalnego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym, w TEE potwierdzono natomiast obecność PFO u 3 z 6 nurków z umiarkowanego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym oraz u jedynego nurka z wykrytym w cTCD znacznego stopnia przeciekiem żylno – tętniczym. Łącznie potwierdzono obecność PFO u 4 nurków z 10 ze stwierdzonym RLS, co stanowiło 40% nurków z przeciekiem żylno – tętniczym.

U pozostałych nurków, u których nie udało się wykonać kontrolnego TEE, przeciek żylno – tętniczy minimalnego stopnia stwierdzono u 3 osób a u 3 osób wykazano RLS umiarkowanego stopnia.

W wyniku badań przeprowadzonych w trakcie zbierania materiału do pracy doktorskiej udało się wykazać przeciek żylno – tętniczy u 16 wśród 78 badanych nurków, co łącznie stanowiło 20,5% badanej grupy. Wynik ten koreluje z odsetkiem RLS wykazanym w badaniu na zdrowych ochotnikach [115]. Grupą, w której stwierdzono największy odsetek przecieków prawo – lewo byli nurkowie Państwowej Straży Pożarnej, u których RLS wykryto u 3 na 11 badanych, czyli 27,27% badanych. Drugą w częstości grupą z stwierdzonym przeciekiem prawo – lewo byli nurkowie służący w Marynarce Wojennej RP u których przy wykorzystaniu cTCD, na 30 badanych obecność różnego stopnia przecieku żylno - tętniczego, stwierdzono u 8 nurków łącznie u 26,67 % osób. W grupie nurków amatorów odsetek wykazanych przecieków żylno – tętniczych był niższy – na 37 badanych osób RLS stwierdzono u 5 osób, co stanowiło 13,51% z badanej grupy.

Zakładając, że echokardiografia przezprzełykowa nie jest już uważana za „złoty standard" w diagnostyce PFO a coraz większe znaczenie w diagnostyce tego wariantu uzyskuje TCD z kontrastem[75] można założyć, że wykryte przez mnie przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej z kontrastem przecieki żylno – tętnicze świadczą jednak o obecności PFO w badanej przeze mnie populacji nurków. Ponieważ wśród 16 nurków z przeciekiem żylno tętniczym echokardiografię przezklatkową lub przezprzełykową wykonano u 12 nurków, przy powyższych rozważaniach nie można wykluczyć współistnienia u nurków z RLS innych patologii ściany międzyprzedsionkowej, w tym ASD II.

6.2 Kolejnym celem pracy doktorskiej była ocena przydatności przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej z kontrastem w wykrywaniu RLS w procesie kwalifikacji kandydatów na nurków wojskowych w czasie wstępnych oraz okresowych badań zlecanych przez Wojskową Komisję Morsko -Lekarską.

W badaniach wykonanych przez mnie w ramach pracy doktorskiej, przy pomocy cTCD różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy wykazano u 16 spośród 78 badanych nurków – łącznie u 20,5% wszystkich badanych. Część z badanych nurków miała wykonywaną również echokardiografię przezklatkową, u nurków z wykrytym przy pomocy cTCD przeciekiem żylno – tętniczym zalecano natomiast wykonanie echokardiografii przezprzełykowej. W celu stwierdzenia efektywności poszczególnych metod diagnostycznych w wykrywaniu obecności przecieku żylno –tętniczego u nurków, analizie poddano wyniki badań jedynie tych nurków, u których wykonano wszystkie trzy procedury – echokardiografię przezklatkową, TCD z kontrastem oraz echokardiografię przezprzełykową wykonaną w celu weryfikacji stwierdzonego w cTCD przecieku żylno – tętniczego.

6.2.1 Spośród 78 nurków zakwalifikowanych do badań w ramach pracy doktorskiej, jedynie u 7 osób wykonano wszystkie wymienione wyżej badania. Grupa ta obejmowała 6 nurków służących w jednostkach Marynarki Wojennej oraz 1 nurka cywilnego. Żaden z nurków Państwowej Straży Pożarnej nie miał wykonanych badań wszystkimi trzema metodami. Analizę efektywności poszczególnych metod diagnostycznych prowadzono testem Q Cochrane'a. W rezultacie przeprowadzonej analizy, na wysokim poziomie istotności ($p=0,002$) można stwierdzić istotną statystycznie różnicę w odsetku pozytywnych przypadków u nurków w zależności od zastosowanej metody. Najmniej skutecznym badaniem wykrywającym obecność przecieku prawo – lewo jest echokardiografia przezklatkowa, która nie wykazała jego

obecności u żadnego analizowanego nurka. Spośród wszystkich 7 badanych metodą TCD, u wszystkich wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno - tętniczego. Wykonana po badaniu cTCD echokardiografia przezprzełykowa potwierdziła natomiast obecność przetrwałego otworu owalnego jedynie u 1 nurka , co stanowi 14,3 % przypadków. Po rozbiciu na poszczególne grupy, w grupie nurków wojskowych na wysokim poziomie istotności (p=0,006) można stwierdzić istotną statystycznie różnicę w odsetku pozytywnych przypadków u nurków MW RP w zależności od zastosowanej metody - najmniej skuteczną metodą diagnostyczną mającą na celu wykazanie obecności przecieku żylno - tętniczego jest echokardiografia przezklatkowa, która nie wykryła jego obecności u żadnego analizowanego nurka. Spośród 6 pacjentów badanych metodą TCD, u wszystkich wykazano obecność różnego stopnia przecieku żylno – tętniczego a wykonana po badaniu cTCD echokardiografia przezprzełykowa potwierdziła obecność przetrwałego otworu owalnego u 1 nurka, co stanowi 16,7 % przypadków. W odniesieniu do nurków amatorów, poddano analizie jedynie jednego nurka, co spowodowało, że na poziomie istotności p=0,37 nie można stwierdzić istotnych statystycznie różnić w odsetku pozytywnych przypadków u nurków amatorów w zależności od zastosowanej metody.

Wyniki powyższej analizy korelują z danymi opublikowanymi przez Pristipino i współpracowników w pracy dotyczącej Europejskich zaleceń dotyczących postępowania z chorymi z przetrwałym otworem owalnym [76]. Na podstawie przeprowadzonej przez autorów metaanalizy, za jedną z najlepszych metod służących do wykrywania przecieku żylno – tętniczego w przebiegu PFO wymieniono dopplerowską sonografię przezczaszkową wspomaganą kontrastem, której czułość i specyficzność w diagnostyce PFO osiągnęła odpowiednio 94% i 88%. Przy podwyższeniu punktu odcięcia dla dodatniego wyniku przecieku żylno – tętniczego z 1 do 10 mikropęcherzyków wykrytych w TCD podczas podawania kontrastu i wykonywaniu próby Valsalvy, specyficzność metody rośnie natomiast do 100% [96]. Z przedstawionych w opisanych zaleceniach danych wynika dodatkowo, że czułość uznawanej dotychczas za „złoty standard" TEE jest znacznie niższa niż uważano poprzednio i sięga jedynie 89% [76]. Należy również podkreślić, że dysproporcja w wykrywaniu liczby przecieków żylno – tętniczych przy pomocy TCD oraz potwierdzonej przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej liczby przetrwałych otworów owalnych u nurków wynikać może z tego, że do części przecieków może dochodzić na poziomie płuc poprzez malformacje tętniczo – żylne [94, 98, 105], zaś TEE może nie wykrywać części przetrwałych otworów owalnych, zwłaszcza tych o małej średnicy [76, 118, 119].

6.2.2 Zagadnienia związane ze zdolnością do czynnej służby wojskowej, w tym do służby jako nurek i płetwonurek Wojska Polskiego określa Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 24 stycznia 2018r.w sprawie orzekania o zdolności do czynnej służby wojskowej oraz trybu postępowania wojskowych komisji lekarskich w tych sprawach (Dz.U. 2018 poz. 258) [84]. Rozporządzenie to, w Załączniku 2 (Wykaz chorób i ułomności przy ocenie zdolności fizycznej i psychicznej do czynnej służby wojskowej oraz do pełnienia takiej służby poza granicami państwa), wśród wymienionych w Rozdziale X schorzeń układu krążenia będących przeciwwskazaniami do służby wojskowej nie wymienia wad przegrody międzyprzedsionkowej. Paragraf 1 p.2 powyższego rozdziału zawiera natomiast zapis o „Innych chorobach serca upośledzających trwale sprawność ustroju", co obejmuje zarówno ubytek przegrody międzyprzedsionkowej, jak i dużego stopnia przetrwały otwór owalny, którym towarzyszy przeciek żylno – tętniczy. Rozporządzenie to, wśród zalecanych w trakcie orzekania żołnierzy zawodowych badań dodatkowych jako podstawowe badanie diagnostyczne do oceny mięśnia sercowego wymienia echokardiografię przezklatkową. W praktyce orzeczniczej,

zarówno kandydaci na nurków jak i służący jako nurkowie żołnierze zawodowi, w trakcie orzekania przez Wojskową Komisję Morsko – Lekarską mają wykonywane jedynie ECHO przezklatkowe bez podawania kontrastu. W przypadku podejrzenia wad serca, w tym ubytku przegrody międzyprzedsionkowej czy podejrzenia PFO z przeciekiem żylno - tętniczym, żołnierze Ci kierowani są na uzupełniające badanie przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej z podaniem kontrastu dożylnie. Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej w sprawie orzekania o zdolności do czynnej służby wojskowej nie zaleca rutynowej diagnostyki w kierunku przetrwałego otworu owalnego z przeciekiem żylno – tętniczym.

6.2.3 Mimo tego, że przetrwały otwór owalny występuje w około 25% populacji, jego rola w patogenezie różnych schorzeń, w tym choroby dekompresyjnej u nurków długo nie była poznana. Chociaż pierwsze przypadki choroby dekompresyjnej, wówczas określanej jako kesonowej, obserwował wynalazca kesonu, Jules Triger w 1845 roku [1] a w 1878 Paul Bert w podręczniku "La Pression Barométrique" opisał swoje obserwacje dotyczące tego, że zbyt szybkie wynurzanie się, a tym samym niekontrolowana dekompresja prowadzić może u nurka do rozwoju ciężkich powikłań neurologicznych lub zgonu [125], to dopiero ponad 100 lat później pojawiły się doniesienia mówiące o tym, że za część przypadków choroby dekompresyjnej odpowiadać może przetrwały otwór owalny. Pierwsze obserwacje dotyczące paradoksalnej zatorowości u nurka z obecnością przecieku żylno – tętniczego towarzyszącego PFO pojawiły się w 1986 i 1987 [57, 126] a w 1989 roku powstały dwie prace opublikowane przez Wilmshursta [56] oraz Moona [127], w których jako jeden z czynników ryzyka choroby dekompresyjnej został zidentyfikowany przetrwały otwór owalny. Przeciek żylno – tętniczy poprzez przetrwały otwór owalny wiązany jest wystąpieniem objawów skórnych [17, 18, 20, 21], przedsionkowych [19, 22, 23] oraz ciężkich, neurologicznych powikłań choroby dekompresyjnej [53, 56-58, 127, 128]. Określenie częstości związanych z PFO przypadków choroby dekompresyjnej jest bardzo trudne. Wynika to z bardzo dużej ilości zmiennych mogących wpłynąć na pojawienie się objawów DCS – od rodzaju nurkowania (rekreacyjne, techniczne, komercyjne, głębokowodne), wielkości PFO, zachowań nurków podczas nurkowania czy nawet sposobu kwalifikowania poszczególnych wypadków nurkowych jako przypadków choroby dekompresyjnej [129]. W swoich zaleceniach dotyczących kwalifikowania do nurkowania Sykes podkreśla, że ilość raportowanych epizodów choroby dekompresyjnej jest znacznie niższa niż występowanie PFO w populacji [55]. W pracy Bove i współpracowników, w której analizowali oni wszystkie dostępne przypadki choroby dekompresyjnej wśród amerykańskich nurków rekreacyjnych, nurków Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych oraz nurków komercyjnych, obecność PFO związana była z 2.5 wzrostem ryzyka wystąpienia ciężkiej postaci choroby dekompresyjnej w tych trzech grupach nurków [52]. Autorzy powyższej pracy ocenili ryzyko choroby dekompresyjnej związanej z obecnością przetrwałego otworu owalnego na 0,002- 0,03% ekspozycji [52]. Należy zwrócić uwagę, że ryzyko wystąpienia jakiejkolwiek choroby dekompresyjnej różni się znacząco w zależności od rodzaju wykonywanych nurkowań – od 1/3770 zanurzeń u nurków wojskowych, poprzez 1/2900 u nurków rekreacyjnych do 1/290 u wykonujących ciężkie prace podwodne nurków komercyjnych [52, 128]. Niższy procent epizodów DCS u nurków wojskowych wynika najpewniej z ich dobrego stanu zdrowia, prowadzenia diagnostyki w kierunku schorzeń sercowo – naczyniowych, dobrego wyszkolenia oraz rzadkiego wykonywania przez nich nurkowań dekompresyjnych, co szczególnie dotyczy nurków bojowych. Z drugiej strony, duże ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej u nurków komercyjnych wynika z tego, że często wykonują oni ciężkie prace podwodne na dużych głębokościach [52, 128]. Kolejnym czynnikiem wpływającym na częstość powiązanych z PFO epizodów choroby dekompresyjnej jest z wielkość przecieku żylno – tętniczego. W przypadku

minimalnego RLS (do 10 mikropęcherzyków), ryzyko ciężkiej postaci DCI jest porównywalne do tego, które występuje u nurków bez stwierdzonego PFO. W przypadku przecieku umiarkowanego bądź znacznego, ryzyko to rośnie - odpowiednio 4,4 razy i 6,6 razy w stosunku do ryzyka występującego u nurków bez PFO [129]. Badając nurków zawodowych, u których występowały nawroty choroby dekompresyjnej, wykazano także, że częstości nawrotu DCS koreluje ze wzrostem wielkości PFO [130, 131]. Trudności związane z dokładnym oszacowaniem ryzyka wystąpienia DCS związanego z obecności przecieku żylno – tętniczego wynikają również z tego, że część zachorowań może towarzyszyć przeciekowi żylno – tętniczemu na poziomie płuc poprzez płucne malformacje tętniczo – żylne[108, 109].

Biorąc po uwagę powyższe rozważania, opublikowane w roku 2013 [55] i 2015 [112] wytyczne dotyczące postępowania z przetrwałym otworem owalnym u nurków nie zalecają diagnostyki w kierunku obecności PFO u wszystkich nurków. Dokumenty te proponują natomiast poszukiwanie obecności przetrwałego otworu owalnego w przypadku nawracających epizodów choroby dekompresyjnej, wystąpienia neurologicznej, przedsionkowej lub skórnej postaci DCS czy epizodu choroby dekompresyjnej nie prowokowanej przekroczeniem profilu bezpieczeństwa przez nurka. Diagnostyka ta jest również zalecana u nurków komercyjnych, u których wystąpił epizod ciężkiej, neurologicznej lub skórnej postaci DCS, zwłaszcza u nurków cierpiących na migrenę z aurą. Rozważane jest również poszukiwanie PFO u nurków w przypadku wystąpienia epizodów niedokrwienia OUN o niejasnej przyczynie oraz przy rodzinnym wywiadzie w kierunku obecności PFO i wad przegrody międzyprzedsionkowej u krewnych I stopnia. W powyższych zaleceniach podkreśla się jednocześnie, że jedną z przyczyn unikania rutynowego badania przesiewowego w kierunku PFO u nurków jest wysoki koszt badania metodą echokardiografii przezprzełykowej oraz niskie ryzyko wystąpienia epizodów DCS związanych z przeciekiem żylno – tętniczym [55]. W podsumowaniu zaleceń, w przypadku wykrycia obecności PFO z przeciekiem żylno tętniczym, zaproponowano trzy sposoby postępowania – zaprzestanie nurkowania, modyfikacja nurkowania prowadząca do zminimalizowania ryzyka tworzenia się pęcherzyków w układzie naczyniowym oraz rozważenie zamknięcia PFO przy pomocy okludera [112]. Autorzy zaleceń proponują unikanie nurkowań saturowanych, skracanie czasu nurkowania, unikanie głębokości powyżej 15m, czy też nurkowanie raz dziennie. W przypadku zamykania otworu owalnego, nie zaproponowano nurkom żadnych precyzyjnych wytycznych i wskazań do wykonywania tej procedury [55, 112]. Podkreślono natomiast, że po zamknięciu otworu owalnego, do nurkowania można powrócić dopiero wtedy, gdy w kontrolnych badaniach wykluczy się obecność przecieku żylno – tętniczego a nurek przyjmuje leki przeciwpłytkowe [112] .
W roku 2021 ukazały się Europejskie wytyczne dotyczące postępowania z przetrwałym otworem owalnym w przypadku choroby dekompresyjnej, migreny i innych schorzeń, w których obecność przecieku żylno – tętniczego jest czynnikiem ryzyka [132]. Na podstawie metaanalizy piśmiennictwa Pristipino ze współautorami ocenili, że ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej u pacjentów z przeciekiem żylno tętniczym jest 5,63 razy większe niż u nurków bez RLS [53, 127, 133]. Biorąc pod uwagę to, że obecność PFO jest jedynie jednym z wielu czynników mogących doprowadzić do wystąpienia choroby dekompresyjnej, trudno jest udzielić jednoznacznych zaleceń dotyczących diagnostyki w kierunku obecności tego wariantu. Autorzy podkreślają, że badania w kierunku obecności PFO można rozpocząć dopiero wtedy, gdy u danego nurka wykluczy się jednoznacznie inne czynniki prowokujące wystąpienie choroby dekompresyjnej – nurkowanie niezgodnie z tabelami dekompresyjnymi czy też gdy obecne są dwa czynniki ryzyka DCS, takie jak wykonywanie ciężkiej pracy pod wodą, odwodnienie, spożywanie alkoholu czy też nurkowanie w zimnej wodzie prowadzące do obkurczenia naczyń obwodowych w kończynach [55, 132]. W przypadku decyzji

o konieczności podjęcia diagnostyki w kierunku PFO, powinna być ona prowadzana przez doświadczony personel w oparciu o uzgodnione wytyczne postępowania z przetrwałym otworem owalnym. [75]. Według autorów europejskich wytycznych dotyczących postępowania z przetrwałym otworem owalnym, taka procedura pozwoli uniknąć fałszywie ujemnych wyników badań w kierunku obecności PFO. Poczucia złudnego bezpieczeństwa po uzyskaniu fałszywej informacji o braku PFO mogłoby bowiem niektórych nurków sprowokować do podjęcia ryzykownych zachowań podczas nurkowania [132]. W przypadku wykrycia PFO z przeciekiem prawo – lewo, opisywane wytyczne w pierwszej kolejności zalecają nurkom modyfikację trybu życia (unikanie palenia i spożywania alkoholu, redukcję masy ciała, odpowiednie nawadnianie przed i po nurkowaniu), unikanie zarówno nurkowań saturowanych oraz takich, gdzie występuje zwiększone ryzyko pojawiania się pęcherzyków gazu w naczyniach [132]. Powyższe zalecenia nie mogą być, niestety, zastosowane w pewnych grupach nurków, zwłaszcza wśród nurków wojskowych czy nurków komercyjnych [55, 112]. W ich wypadku zaproponować można zamykanie otworu owalnego przy pomocy okludera, co zmniejsza ilość obecnych we krwi tętniczej pęcherzyków gazu obojętnego oraz redukuje częstość epizodów choroby dekompresyjnej [134 - 137]. Warunkiem powrotu do nurkowania bez jakichkolwiek ograniczeń jest potwierdzenie całkowitego zamknięcia otworu owalnego [112, 138]. Pristipino w swoich zaleceniach nie zaleca również jednoznacznie wykonywania rutynowych badań w kierunku PFO jako pierwotnej profilaktyki wystąpienia choroby dekompresyjnej u nurków. Postępowanie takie może być zastosowane w grupie nurków zawodowych, u których rodzaj wykonywanej pracy w szczególny sposób wiązać się może ze znacznym ryzykiem wystąpienia choroby dekompresyjnej w przebiegu PFO [132]. O ile w przypadku zamykania otworu owalnego można stosunkowo łatwo potwierdzić skuteczność tej procedury w redukcji ilości przypadków DCS, o tyle wpływ nurkowania konserwatywnego i modyfikacji zwyczajów nurków na wzrost bezpieczeństwa nurkowania jest trudny do oceny. W 2012 roku Klingman poddał analizie ilość epizodów choroby dekompresyjnej u 27 nurków z historią choroby dekompresyjnej, którym jako metodę zapobiegania nawrotom DCS zaproponowano zastosowanie bardziej konserwatywnego profilu nurkowania. Grupa obejmowała zarówno nurków z przeciekiem żylno – tętniczym poprzez PFO, jak i tych, u których PFO nie wykryto. Ilość zgłoszonych przypadków choroby dekompresyjnej, średnio 5,3 lat od wdrożenia zaleceń, łącznie w obu grupach spadła z 19 na 10000 do 4,3 na 10000 [139]. W 2019 roku Anderson podjął natomiast próbę oceny efektu wdrożenia zaleceń bardziej konserwatywnego nurkowania oraz modyfikacji zachowań w porównaniu do zamknięcia PFO przy pomocy okludera u 62 nurków z historią epizodów choroby dekompresyjne. W pierwszej grupie uzyskał spadek ryzyka wystąpienia DCS z 13 na 10000 nurkowań do 6,2, w grupie z zamkniętym otworem owalnym współczynnik ten spadł natomiast do 2,7 na 10000 nurkowań [140]. Chociaż wyniki opisanych badań potwierdzają dużą skuteczność wdrożenia „bezpiecznego" nurkowania, to oba badania przeprowadzone były na małych grupach nurków a ich wyniki trudne do jednoznacznej oceny. Wynikało to z różnych czynników – po pierwsze nie wiadomo było, w jaki sposób nurkowie stosowali się do zaleceń dotyczących modyfikacji trybu życia oraz stosowania bardziej konserwatywnego profilu nurkowania, po drugie, symptomatologia choroby dekompresyjnej jest zróżnicowana i część przypadków DCS mogła być przeoczona albo niektóre niecharakterystyczne objawy występujące u nurków mogły być fałszywie zakwalifikowane jako DCS. Kolejnym czynnikiem było duże zróżnicowanie parametrów, które mogły wpływać na częstość wystąpienia epizodów choroby dekompresyjnej – głębokości i długości nurkowania, temperatury wody, rodzaju wykonywanej pod wodą pracy, stanu zdrowia nurków oraz wielkości obecnego u nich PFO [141].

6.2.4 Oprócz oceny częstości występowania przecieku żylno – tętniczego u badanych nurków, w pracy doktorskiej poddano analizie stopień przecieku żylno - tętniczego dla poszczególnych grup nurków w zależności od zmiennych - wieku, masy ciała, wzrostu, BMI, oraz lat nurkowania. O ile w grupie nurków Państwowej Straży Pożarnej oraz w grupie nurków amatorów nie wykazano żadnych korelacji statystycznych pomiędzy stopniem nasilenia przecieku żylno – tętniczego a poszczególnymi zmiennymi, o tyle w grupie nurków MW RP obserwowano wzrost stopnia RLS w zależności od wieku nurków oraz od ilości lat nurkowania – stopień nasilenia zwiększał się wraz z wiekiem i ilością lat nurkowania, różnice te nie były jednak istotne statystycznie. W grupie nurków MW RP, u których nie wykazano obecności RLS, średni wiek wynosił 32,73 lata, w grupie z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym średni wiek to 35,2 lata, a w grupach z umiarkowanym i znacznym przeciekiem żylno tętniczym średni wiek wynosił odpowiednio 43,5 i 55 lat. W grupie nurków MW RP, u których nie wykazano obecności RLS, badani nurkowali średnio 7,45 lat, w grupie z minimalnym przeciekiem żylno – tętniczym było to już 8,2 roku, a w grupach z umiarkowanym i znacznym przeciekiem żylno tętniczym nurkowano średnio 12,5 lat i 15 lat.

Chociaż powyższe wyniki dotyczące wzrostu stopnia RLS u nurków wojskowych w zależności od wieku oraz od ilości lat nurkowania nie mają istotności statystycznej, to w pewnym stopniu korelują z obserwacjami poczynionymi przez Germonpré na temat powiększania się u nurków wraz z wiekiem i czasem nurkowania stopnia przecieku żylno – tętniczego poprzez PFO. Autorzy pracy analizowali wyniki dwóch badań echokardiograficznych z kontrastem oceniających u 50 nurków stopień przecieku na poziomie serca. Kontrolne badanie TEE wykonywano w okresie 6-8 lat po pierwszym. W efekcie przeprowadzonej analizy stwierdzono znaczącą zmianę w stopniu przecieku żylno – tętniczego wykrywanego w badanej populacji. Badania wykazały, że u 7,5% spośród nich doszło do zamknięcia otworu owalnego, natomiast u 22,5% badanych nurków stopień przecieku żylno – tętniczego poprzez PFO zwiększył się, z tego u niemal połowy z nich, bo u 10% wszystkich analizowanych, początkowo PFO nie wykryto [142]. Podobne wyniki przedstawił Hagen w serii badań autopsyjnych, gdzie stwierdził, że wraz z wiekiem częstość PFO zmniejsza się, natomiast powiększa się wielkość tych, które pozostają drożne [26]. W podsumowaniu pracy Germonpré konkluduje, że wyniki obu badań mogą stanowić wyjaśnienie anegdotycznych obserwacji, że u części doświadczonych nurków, po wielu latach bezpiecznego nurkowania wzrasta częstość epizodów choroby dekompresyjnej związanych z obecnością PFO [142].

6.2.5 Prowadzone przez mnie badania wykonywane były u ochotników, którzy samodzielnie zgłaszali się do programu. O ile większość z nich nie miała w wywiadzie jakichkolwiek epizodów choroby dekompresyjnej, to 12 nurków zgłosiło pojawiające się po nurkowaniu różnego rodzaju objawy DCS. Spośród pięciu podających wystąpienie w przeszłości objawów typu „bends" z bólami mięśni i stawów, u jednego wykryto przy pomocy cTCD dużego stopnia RLS potwierdzony następnie w echokardiografii przezprzełykowej. Objawy skórne o typie skóry marmurkowatej nawracały u trzech nurków, u jednego z nich, opisanego poniżej, po wielu latach nurkowania ostatecznie rozwinęły się objawy neurologicznej postaci choroby dekompresyjnej. U dwóch spośród trzech nurków z objawami skórnymi wykryto RLS, u jednego z nich stopnia minimalnego (nie potwierdzony w TEE), u drugiego, z przeciekiem stopnia średniego, obecność PFO potwierdzona została w TEE. Kolejnymi objawami choroby dekompresyjnej zgłaszanymi przez nurków były nawracające zawroty głowy typu wirowania połączone z zaburzeniami równowagi, które pojawiały się kilkanaście minut po nurkowaniu i składane były przez nurków na karb przemęczenia. Objawy przedsionkowe występowały u dwóch spośród badanych przez mnie nurków , u jednego z nich wykryto średniego stopnia

RLS potwierdzony badaniem TEE. Niecharakterystyczne objawy ogólnego zmęczenia i złego samopoczucia podawał jeden nurek. Nie wykryto u niego przecieku żylno tętniczego i nie wykonywano TEE.

Wszystkim nurkom ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym zalecono stosowanie się do opisanego w wytycznych konserwatywnego profilu nurkowania oraz unikanie czynników ryzyka wystąpienia choroby dekompresyjnej [55, 112]

O ile większość objawów choroby dekompresyjnej zgłaszanych przez badanych przez mnie nurków nie stanowiło zagrożenia życia, to jeden z badanych nurków zgłosił się na prowadzone przez mnie badania po przebytym kilka miesięcy wcześniej epizodzie ciężkiej, neurologicznej postaci choroby dekompresyjnej z porażeniem lewych kończyn oraz zaburzeniami świadomości. Powyższe objawy rozwinęły się niemal bezpośrednio po nurkowaniu. Po zastosowanym leczeniu w komorze dekompresyjnej niedowład połowiczy lewostronny oraz zaburzenia świadomości wycofały się, do dzisiaj utrzymuje się jedynie niewielka przeczulica skóry w obrębie lewych kończyn. W wykonanym badaniu TCD z kontrastem wykazałem u niego obecność umiarkowanego stopnia przecieku żylno – tętniczego, który został potwierdzony w echokardiografii przezprzełykowej. Po przeprowadzonej kwalifikacji w Klinice Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego u chorego wykonano endowaskularne zamknięcie przetrwałego otworu owalnego przy pomocy zapinki typu Amplatzer. W kontrolnej echokardiografii przezprzełykowej wykazano szczelne zamknięcie PFO i pacjent wrócił do nurkowania. Opisywany nurek w chwili zgłoszenia się na badanie cTCD miał 45 lat i od 24 lat regularnie nurkował amatorsko. Mimo tego, że w przeszłości kilkakrotnie wystąpiły u niego po nurkowaniu epizody skórnej postaci DCS, nigdy wcześniej nie zgłosił się z tego powodu do lekarza zajmującego się medycyną nurkową.

Drugi z nurków, u którego również wykonano przezskórne zamknięcie przetrwałego otworu owalnego przy pomocy zapinki typu Amplatzer, w chwili badania cTCD miał 35 lat i od 10 lat nurkował amatorsko. Pacjent nie zgłaszał epizodów choroby dekompresyjnej, cierpiał natomiast na częste napady migreny z aurą wzrokową. W badaniu cTCD wykazano u niego przeciek żylno – tętniczy umiarkowanego stopnia, mimo zalecenia wykonania TEE, pacjent echokardiografii nie wykonał. Ponad rok po wykonanym przeze mnie badaniu cTCD, chory przyjęty został do Oddziału Neurologii Szpitala Marynarki Wojennej z powodu objawów udaru niedokrwiennego pnia mózgu z ustępującą dysartrią i dysfagią, zaburzeniami równowagi oraz oczopląsem. W czasie hospitalizacji wykonano echokardiografię przezprzełykową, która potwierdziła obecność PFO. Pacjent skierowany został do Kliniki Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, gdzie został zakwalifikowany do zamknięci otworu owalnego przy pomocy zapinki. Po zastosowanym leczeniu utrzymuje się śladowa dyzartia, po zamknięciu otworu owalnego niemal całkowicie ustąpiły natomiast migrenowe bóle głowy.

Zamykanie przetrwałego otworu owalnego z towarzyszącym przeciekiem żylno tętniczym nie jest obecnie zalecane rutynowo u każdego nurka. Niemniej jednak, gdy w pewnych grupach nurków nie jest możliwe stosowanie konserwatywnego profilu nurkowania (nurkowie komercyjni czy też wojskowi) lub wystąpi choroba dekompresyjna związana z przeciekiem żylno – tętniczym poprzez PFO, zgodnie z opublikowanymi zaleceniami można rozważyć zamknięcie PFO przy pomocy okludera [112, 132, 143]. Zabieg zamknięcia otworu owalnego jest procedurą bezpieczną i zmniejszającą ryzyko wystąpienia powtórnych epizodów choroby dekompresyjnej [61, 144 - 147]. Należy jednak pamiętać o tym, że powrócić do nurkowania

można dopiero po szczelnym zamknięciu PFO [112, 133] a okluzja otworu owalnego przy pomocy zapinki nie zapobiega w pełni nawrotom choroby dekompresyjnej [12, 16, 132]

Zamykanie przetrwałego otworu owalnego jest obecnie uznaną metodą leczenia w przypadku udarów mózgu w przebiegu przetrwałego otworu owalnego [75]. Opublikowane w roku 2017 wyniki badania RESPECT wykazały, że wśród dorosłych z udarem kryptogennym zamknięcie otworu owalnego przy pomocy okludera jest skuteczniejsze w zapobieganiu powtórnych udarów niedokrwiennych niż farmakologiczne leczenie zachowawcze [144]. Do podobnych wniosków doszedł Abdelaziz w opublikowanej rok później metaanalizie wyników prób klinicznych dotyczących zamykania otworów owalnych u pacjentów z udarem niedokrwiennym mózgu [145]. Polskie zalecenia dotyczące zamykania otworu owalnego u pacjentów z udarem niedokrwiennym mózgu zawarte są natomiast w opinii ekspertów Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego [143]

Chociaż opisany w przypadku drugiego pacjenta znaczny spadek częstości migrenowych bólów głowy po zamknięciu przetrwałego otworu owalnego znajduje odbicie w literaturze [46, 148 – 151], to wyniki powyzszych badań i metaanaliz nie są jednoznaczne i obecne wytyczne nie zalecają rutynowego zamykania przetrwałego otworu owalnego u pacjentów z migreną. Wyjątkiem są badania kliniczne lub szczególne przypadki migreny z aurą [112].

6.3 Dodatkowy cel badania

Dodatkowym celem prowadzonych badań było określenie, czy przy wykorzystaniu TCD z kontrastem będzie możliwe wykrycie przecieku żylno - tętniczego u części nurków wojskowych, u których w rutynowo wykonywanej w procesie orzekania zdolności do nurkowania echokardiografii przezklatkowej bez kontrastu nie wykryto obecności RLS.

W celu porównania efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków, analizie poddano wyniki badań jedynie tych nurków, u których wykonano zarówno TCD z kontrastem oraz echokardiografię przezklatkową. Grupa obejmowała 30 nurków służących w jednostkach Marynarki Wojennej oraz 7 nurków cywilnych. Żaden z nurków Państwowej Straży Pożarnej nie miał wykonanej echokardiografii przezklatkowej. Analizę efektywności poszczególnych metod prowadzono testem Q Cochrane'a.
W wyniku przeprowadzonych przeze mnie badań, spośród wszystkich 37 badanych nurków, u których wykonano wcześniej echokardiografię przezklatkową, obecność przecieku żylno – tętniczego wykazano u 9 z nich. Ponieważ przy pomocy TTE nie udało się wykryć obecności RLS u żadnego nurka, na wysokim poziomie istotności p=0,003 istnieje istotna statystycznie różnica miedzy odsetkiem wykrytych przypadków pozytywnych dla zastosowanych metod. Zdecydowanie więcej przypadków RLS wykrywa metoda cTCD w stosunku do TTE, która nie wykryła żadnego przypadku przecieku żylno – tętniczego przez PFO.
Przy rozbiciu na grupy, w grupie nurków amatorów, na poziomie istotności p=0,37 nie można stwierdzić istotnych statystycznie różnić w odsetku pozytywnych przypadków dla zastosowanych metod. W badanej grupie wykonano 7 badań echokardiograficznych, które nie wykazały obecności przecieku żylno – tętniczego, w dopplerowskiej sonografiii przezczaszkowej z kontrastem wykazano wśród nurków amatorów przeciek u jednej osoby.

Analizując wyniki badań nurków wojskowych, na poziomie istotności p=0,005 istnieje istotna statystycznie różnica miedzy odsetkiem wykrytych przypadków pozytywnych dla

zastosowanych metod w badanej grupie. W echokardiografii przezklatkowej bez kontrastu nie wykryto żadnego przypadku przecieku żylno – tętniczego przez PFO. Zdecydowanie więcej przypadków RLS wykrywane jest przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej z kontrastem, dzięki której wykazano obecność przepływu żylno – tętniczego u 8 nurków.

Przez wiele lat za złoty standard w poszukiwaniu obecności przecieku żylno – tętniczego poprzez przetrwały otwór owalny uważano kontrastową echokardiografię przezprzełykową [67 – 70]. Ze względu jej trudną dostępność, inwazyjność dla pacjenta oraz wysoki koszt, w przesiewowych badaniach w kierunku PFO powszechnie wykorzystywano przezklatkową echokardiografię z kontrastem [152,153,154]. W standardowej echokardiografii przezklatkowej przetrwały otwór owalny może być widoczny w obrazowaniu 2D jako przerwana ciągłość przegrody międzyprzedsionkowej. Przy wykorzystaniu kolorowego dopplera, w TEE można wykazać przepływ krwi z prawego do lewego przedsionka. Skuteczność takiego postępowania jest jednak niska. W swojej pracy Hausmann, na 198 pacjentach porównał skuteczność kontrastowej i klasycznej echokardiografii przezprzełykowej oraz kontrastowej i klasycznej echokardiografii przezklatkowej w wykrywaniu PFO. W wyniku badania, u 44 chorych wykryto PFO przy wykorzystaniu kontrastowej TEE, u 40 pacjentów PFO był widoczny w klasycznej echokardiografii przezprzełykowej a u 15 chorych PFO zobrazowano w kontrastowej echokardiografii przezklatkowej. Przy wykorzystaniu standardowej echokardiografii przezklatkowej bez kontrastu nie wykryto żadnego otworu owalnego [155]. W kolejnej pracy Belkin badał 34 pacjentów przy pomocy cTEE, TEE oraz TTE. Przy wykorzystaniu kontrastowej echokardiografii przezprzełykowej wykazał PFO u 14 chorych, w kontrastowej echokardiografii przezklatkowej wykazano 9 przetrwałych otworów owalnych, natomiast w standardowym TTE PFO wykazano u jednego chorego [156]. Wreszcie w podręczniku Echokardiografii Otto szacuje ilość przetrwałych otworów owalnych wykrywanych przy pomocy TTE z dopplerem kolorowym na nie więcej niż 5% [157]. Ze względu na bardzo niską czułość, TTE z kolorowym dopplerem w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego nie jest obecnie rutynowo w tym celu wykorzystywana.

Dane z powyższych prac ściśle korelują z wynikami moich badań wykonywanych u nurków zawodowych służących w jednostkach Marynarki Wojennej, gdzie wśród 30 badanych na zlecenia Wojskowej Komisji Morsko – Lekarskiej, przy pomocy TTE bez kontrastu nie wykryto obecności żadnego przetrwałego otworu owalnego.

Z drugiej strony, przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej z kontrastem w badaniach do pracy doktorskiej wykazałem przeciek żylno - tętniczy u 8, spośród wszystkich 30 nurków wojskowych. Ponieważ w badaniach radiologicznych płuc nie wykryto u nich malformacji tętniczo – żylnych mogących być źródłem przecieku prawo – lewo, można założyć, że stwierdzony przeze mnie przeciek żylno – tętniczy zlokalizowany był na wysokości serca.

Obecnie przezczaszkowa sonografia dopplerowska uważana jest za bardzo skuteczna metodę przesiewową w wykrywaniu przecieku żylno – tętniczego [75, 78, 96, 117, 158]. W podsumowaniu zaleceń dotyczących postępowania z chorymi z podejrzeniem obecności przetrwałego otworu owalnego stwierdzono, że diagnostyka PFO opierać się musi na kontrastowej echokardiografii przezklatkowe i cTCD jako metodach przesiewowych do wykrywania przecieku prawo-lewo a echokardiografia przezprzełykowa z kontrastem do potwierdzenia obecności PFO oraz oceny morfologii przegrody międzykomorowej [75].

7 Wnioski

1. W wyniku przeprowadzonych badań przy pomocy przezczaszkowej sonografiii dopplerowskiej z kontrastem, przeciek żylno – tętniczy wykryto u 20,5% wszystkich badanych nurków, w tym u 26,67% nurków wojskowych, u których wykonana wcześniej echokardiografia przezklatkowa nie wykazała żadnej patologii ściany międzyprzedsionkowej.

2. W przypadku wprowadzenia w Polsce zaleceń dotyczących wstępnej diagnostyki przecieku żylno – tętniczego u nurków wojskowych, najlepszą metodą przesiewową wykrywającą RLS jest przezczaszkowa sonografię dopplerowska z kontrastem

3. Ze względu na bardzo niską czułość, stosowana rutynowo w Wojsku Polskim echokardiografia przezklatkowa nie jest efektywna w wykrywaniu PFO. Przy pomocy cTCD wykazano obecność przecieku żylno – tętniczego u 8 spośród 30 nurków wojskowych, u których metodą echokardiografii przezklatkowej bez kontrastu nie wykazano obecności przetrwałego otworu owalnego.

4. W oparciu o obecnie obowiązujące wytyczne i zalecenia oraz wyniki badań, wydaje się zasadne wypracowanie standardów badań przesiewowych na obecność przecieku żylno - tętniczego u nurków wojskowych, MSWiA oraz nurków komercyjnych, wykorzystując do tego przezczaszkową sonografię dopplerowską z kontrastem. Czułość i specyficzność c-TCD w wykrywaniu PFO porównywalna jest z ECHO przezprzełykowym, do zalet należy natomiast niski koszt badań, niewielkie wymiary aparatów USG, niewielka inwazyjność oraz brak działań niepożądanych związanych z badaniem.

8 Piśmiennictwo

1 Acott, C., *A brief history of diving and decompression illness.* SPUMS Journal Volume 29 No.2 June, 1999, 29(98-109).

2 Meijer F. *A History of Seafaring in the Classical World (Routledge Revivals).* 1st Edition, Published June 12, 2015 by Routledge .

3 Davis R.H.., *Deep diving and submarine operations*. 7th edition. ed., 1995,: London: St Catherine Press. 7-9.

4 Bachrach A.J, Matzen M.M, *A Pictorial History of Diving*., Best Publishing Company, Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1988 p. 68-73.

5 Bevan, J., *The Infernal Diver: The Lives of John and Charles Deane, Their Invention of the Diving Helmet and Its First Application*. 1996, Submex Ltd.

6 Jackson P. *Development of Self-contained Diving Prior to Cousteau-Gagnan.* Historical Diver, 1997, 13: p. 34–36.

7 Leaney L., *Jacques Yves Cousteau. The Pioneering Years, "Allons Voir.".* Historical Diver, 1997. 13: p. 14-30.

8 Loske A, "*Fundamentals of SCUBA-Diving Physics"* International Journal of Sports Science, 2013 (3(2)): p. 37-45.

9 Krzyżak J., *Medycyna dla nurków w pigułce*. 2008: Wydawnictwo "KOOPgraf"s.c.

10 Levett D.Z, Millar I.L., *Bubble trouble: a review of diving physiology and disease.* Postgrad Med J, 2008, 84(997): p. 571-8.

11 Tetzlaff, K., Thorsen E., *Breathing at depth: physiologic and clinical aspects of diving while breathing compressed gas.* Clin Chest Med, 2005. 26(3): p. 355-80, v.

12 Vann, R.D., et al., *Decompression illness.* Lancet 2011 Jan 8;377(9760):153-64.

13 Bochenek A., *Anatomia człowieka*. Vol. II. 1989: PZWL.

14 Michajlik A., *Anatomia i fizjologia człowieka*. 2013: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.

15 Bochenek A., *Anatomia człowieka*. Vol. III. 1993. PZWL

16 Brubakk A., Neumann T., *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving* 5th Revised edition. 2003: Saunders.

17 García, E., Mitchell S.J.,, *Bubbles in the skin microcirculation underlying cutis marmorata in decompression sickness: Preliminary observations.* Diving Hyperb Med, 2020. 50(2): p. 173-177.

18 Germonpré, P., et al., *Cutis marmorata skin decompression sickness is a manifestation of brainstem bubble embolization, not of local skin bubbles.* Med Hypotheses, 2015. 85(6): p. 863-9.

19 Guenzani, S., et al., *Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers.* Diving Hyperb Med, 2016. 46(2): p. 111-6.

20 Kemper, T.C., et al., *Cutis marmorata in decompression illness may be cerebrally mediated: a novel hypothesis on the aetiology of cutis marmorata.* Diving Hyperb Med, 2015. 45(2): p. 84-8.

21 Kerut, C.K., et.al., *Cutis marmorata in decompression sickness is associated with a patent foramen ovale.* Echocardiography, 2019. 36(6): p. 1179-1180.

22 Mitchell, S.J., Doolette D.J., *Pathophysiology of inner ear decompression sickness: potential role of the persistent foramen ovale.* Diving Hyperb Med, 2015. 45(2): p. 105-10.

23 Tremolizzo, L., et al., *Inner-ear decompression sickness: 'hubble-bubble' without brain trouble?* Diving Hyperb Med, 2015. 45(2): p. 135-6.

24 Koutroulou, I., et al., *Epidemiology of Patent Foramen Ovale in General Population and in Stroke Patients: A Narrative Review.* Front Neurol, 2020. 11: p. 281.

25 Thomson T. , Evans.W., *Paradoxical embolism. QJM: An International Journal of Medicine*, Volume os-23, Issue 90, January 1930. 23: p. 135–150.
26 Hagen P.T., et.al. *Incidence and size of patent foramen ovale during the first 10 decades of life: an autopsy study of 965 normal hearts*. Mayo Clin Proc 1984 Jan;59(1): p. 17-20.
27 Rana, B.S., et al., *Echocardiographic evaluation of patent foramen ovale prior to device closure.* JACC Cardiovasc Imaging, 2010. 3(7): p. 749-60.
28 Ostrowski K., *Histologia*. 1988: PZWL.
29 Kerut, E.K., et al., *Patent foramen ovale: a review of associated conditions and the impact of physiological size.* J Am Coll Cardiol, 2001. 38(3): p. 613-23.
30 Niszczota S., Koleśnik A.., *Rozwój i morfologia kliniczna prawidłowego serca płodu i dziecka. Sekwencyjna analiza segmentalna serca z wadą wrodzoną.* Pediatria Polska, 2012. 87(1): p. 78-90.
31 Zisa, D., et al., *Ridges and Pouches: A Case Series of Anomalous Atrial Septal Fusion.* CASE (Philadelphia, Pa.), 2019. 4(1): p. 7-17.
32 Sabiniewicz R., *Trudne ubytki w przegrodzie między-przedsionkowej - kiedy zamykamy, a kiedy nie?* Kardiol Inwazyjna, 2016 (11(5)): p. 21-26.
33 Cotter, P.E., Martin P.J., *Toward understanding the atrial septum in cryptogenic stroke.* Int J Stroke, 2011. 6(5): p. 445-53.
34 Steiner, M.M., et al., *Patent foramen ovale size and embolic brain imaging findings among patients with ischemic stroke.* Stroke, 1998. 29(5): p. 944-8.
35 Wessler, B.S., et al., *Transesophageal echocardiography in cryptogenic stroke and patent foramen ovale: analysis of putative high-risk features from the risk of paradoxical embolism database.* Circ Cardiovasc Imaging, 2014. 7(1): p. 125-31.
36 Adams, H.P., *Patent Foramen Ovale: Paradoxical Embolism and Paradoxical Data.* Mayo Clinic Proceedings, 2004. 79(1): p. 15–20.
37 Rigatelli, G., et al., *Left atrial dysfunction in patients with patent foramen ovale and atrial septal aneurysm: an alternative concurrent mechanism for arterial embolism?* JACC Cardiovasc Interv, 2009. 2(7): p. 655-62.
38 Berthet, K., et al., *Significant association of atrial vulnerability with atrial septal abnormalities in young patients with ischemic stroke of unknown cause.* Stroke, 2000. 31(2): p. 398-403.
39 Layoun, M.E., Aboulhosn J.A., Tobis J.M., *Potential Role of Patent Foramen Ovale in Exacerbating Hypoxemia in Chronic Pulmonary Disease.* Texas Heart Institute Journal, 2017. 44(3): p. 189-197.
40 Goliszek S, et al, *Drożny otwór owalny i jego znaczenie u pacjentów z ostrą zatorowością płucną.* Folia Cardiologica, 2015. 10: p. 330–335.
41 Anzola, G.P., et al., *Potential source of cerebral embolism in migraine with aura: a transcranial Doppler study.* Neurology, 1999. 52(8): p. 1622-5.
42 Del Sette, M., et al., *Migraine with aura and right-to-left shunt on transcranial Doppler: a case-control study.* Cerebrovasc Dis, 1998. 8(6): p. 327-30.
43 Finocchi, C., Del Sette M., *Migraine with aura and patent foramen ovale: myth or reality?* Neurol Sci, 2015. 36 Suppl 1: p. 61-6.
44 Sadrameli, S.S., et al., *Patent Foramen Ovale in Cryptogenic Stroke and Migraine with Aura: Does Size Matter?* Cureus, 2018. 10(8): p. e3213.
45 Domitrz, I., et.al., *The prevalence of patent foramen ovale in patients with migraine.* Neurol Neurochir Pol, 2004. 38(2): p. 89-92.
46 Ben-Assa, E. et al., *Effect of Residual Interatrial Shunt on Migraine Burden After Transcatheter Closure of Patent Foramen Ovale.* JACC Cardiovasc Interv, 2020. 13(3): p. 293-302.

47 Lippmann, H., Rafferty T., *Patent foramen ovale and paradoxical embolization: a historical perspective.* Yale J Biol Med, 1993. 66(1): p. 11-7.
48 Hart, R.G. et al., *Embolic strokes of undetermined source: the case for a new clinical construct.* Lancet Neurol, 2014. 13(4): p. 429-38.
49 Mojadidi, M.K. et al., *Cryptogenic Stroke and Patent Foramen Ovale.* J Am Coll Cardiol, 2018. 71(9): p. 1035-1043.
50 Lechat, P., et al., *Prevalence of patent foramen ovale in patients with stroke.* N Engl J Med, 1988. 318(18): p. 1148-52.
51 Sørensen, H.T., et al., *Venous thromboembolism and subsequent hospitalisation due to acute arterial cardiovascular events: a 20-year cohort study.* Lancet, 2007. 370(9601): p. 1773-9.
52 Bove, A. *Risk of decompression sickness with patent foramen ovale.* Undersea Hyperb Med . Fall 1998;25(3):175-8.
53 Germonpré, P., et al., *Patent foramen ovale and decompression sickness in sports divers.* J Appl Physiol (1985) 1998 May;84(5):1622-1626.
54 Guenzani, S., et al., *Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers.* Diving Hyperb Med 2016 Jun;46(2):111-6.
55 Sykes, O., Clark J.E., *Patent foramen ovale and scuba diving: a practical guide for physicians on when to refer for screening.* Extrem Physiol Med . 2013 Apr 1;2(1):10 p:1-7
56 Wilmshurst, P.T., et.al., *Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers.* Lancet 1989 Dec 2;2(8675):1302-6
57 Wilmshurst, P.T., et.al. , *Paradoxical gas embolism in a scuba diver with an atrial septal defect.* Br Med J (Clin Res Ed) 1986 Nov 15;293(6557):1277.
58 Wilmshurst, P.T., *The role of persistent foramen ovale and other shunts in decompression illness.* Diving Hyperb Med, 2015. 45(2): p. 98-104.
59 Balestra, C., Germonpré P. *Correlation between Patent Foramen Ovale, Cerebral "Lesions" and Neuropsychometric Testing in Experienced Sports Divers: Does Diving Damage the Brain?* Front Psychol, 2016. 7: p. 696.
60 Gerriets, T., et al., *Association between right-to-left shunts and brain lesions in sport divers.* Aviat Space Environ Med, 2003. 74(10): p. 1058-60.
61 Billinger, M., et al., *Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up.* Heart, 2011. 97(23): p. 1932-7.
62 Connolly, D.M. and V.M. Lee, *Odds Ratio Meta-Analysis and Increased Prevalence of White Matter Injury in Healthy Divers.* Aerosp Med Hum Perform, 2015. 86(11): p. 928-35.
63 Erdem, I., et al., *Cerebral white-matter lesions in asymptomatic military divers.* Aviat Space Environ Med, 2009. 80(1): p. 2-4.
64 Knauth, M., et al., *Cohort study of multiple brain lesions in sport divers: role of a patent foramen ovale.* BMJ, 1997. 314(7082): p. 701-5.
65 Reul, J., et al., *Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers.* Lancet, 1995. 345(8962): p. 1403-5.
66 Schwerzmann, M., et al., *Relation between directly detected patent foramen ovale and ischemic brain lesions in sport divers.* Ann Intern Med. 2001 Jan 2;134(1):21-4.
67 de Belder, M.A., et al., *Transesophageal contrast echocardiography and color flow mapping: Methods of choice for the detection of shunts at the atrial level?* American Heart Journal, 1992. 124(6): p. 1545-1550.
68 Pearson, A.C., et al., *Superiority of transesophageal echocardiography in detecting cardiac source of embolism in patients with cerebral ischemia of uncertain etiology.* J Am Coll Cardiol, 1991. 17(1): p. 66-72.

69 Di Tullio, M., et al., *Comparison of diagnostic techniques for the detection of a patent foramen ovale in stroke patients.* Stroke 1993 Jul;24(7):1020-4.
70 González-Alujas, T., et al., *Diagnosis and quantification of patent foramen ovale. Which is the reference technique? Simultaneous study with transcranial Doppler, transthoracic and transesophageal echocardiography.* Rev Esp Cardiol, 2011. 64(2): p. 133-9.
71 Szyszka, A., et al., *Recommendations of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society for transesophageal echocardiography use in clinical practice 2011* Kardiol Pol 2011;69(7):755-60
72 Flachskampf, F.A., et al., *Recommendations for transoesophageal echocardiography: update 2010.* Eur J Echocardiogr, 2010. 11(7): p. 557-76.
73 Palazzo, P., et al., *Transcranial Doppler to detect right‐to‐left shunt in cryptogenic acute ischemic stroke.* Brain Behav. 2019 Jan;9(1):e01091.
74 Mojadidi, M.K., et al., *Accuracy of conventional transthoracic echocardiography for the diagnosis of intracardiac right-to-left shunt: a meta-analysis of prospective studies.* Echocardiography, 2014. 31(9): p. 1036-48.
75 Pristipino, C., et al., *European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. General approach and left circulation thromboembolism.* Eur Heart J, 2019. 40(38): p. 3182-3195.
76 Aaslid, R., et.al., *Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries.* J Neurosurg, 1982. 57(6): p. 769-74.
77 Jauss, M., Zanette E., *Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography.* Cerebrovasc Dis. Nov-Dec 2000; 10(6):490-6
78 Tobe, J., et al., *Transcranial Doppler is Complementary to Echocardiography for Detection and Risk Stratification of Patent Foramen Ovale.* Can J Cardiol, 2016. 32(8): p. 986.e9-986.e16.
79 Kozera, G., Nyka W., *Próba TCD na PFO-znaczenie kliniczne i ograniczenia*. Polski Przegląd Neurologiczny, 2008, tom 4, supl. A p: 56-57.
80 *Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych do wykonywania prac podwodnych.* Dz.U. 2007 nr 199 poz. 1440.
81 *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 lutego 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych*. Dz.U. 2011. Nr 40, poz. 211.
82 *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 października 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych.* Dz.U. 2019, poz. 2027.
83 *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 25 maja 2004 r. w sprawie wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez ministra właściwego do spraw wewnętrznych.* Dz.U. 2004 nr 138 poz. 1468.
84 *Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 24 stycznia 2018r.w sprawie orzekania o zdolności do czynnej służby wojskowej oraz trybu postępowania wojskowych komisji lekarskich w tych sprawach (Dz.U. 2018 poz. 258).* Dz.U. 2018 poz. 258.
85 *Rozporządzenie Ministra Sportu z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zasad bezpieczeństwa przy uprawianiu płetwonurkowania*. Dz.U. 2006 poz. 1103.
86 *Ustawa z dnia 25 czerwca 2010 r. o sporcie*. Dz.U. 2010 nr 127 poz. 857.
87 https://www.nurkomania.pl/a0291.htm (link na dzień 19.03.2022)
88 https://www.padi.com/sites/default/files/documents/padi-courses/2.1.5%20rstc%20medstate%20v201.pdf. (link na dzień 19.03.2022)

89 https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving_Medical_Guidance_EN_English_2021-09-16.pdf (link na dzień 19.03.2022)
90 Wojczal, J., et al., *Standards in neurosonology.* J Ultrason. 2015 Sep;15(62):307-17.
91 Dziewiatowski k. Siermontowski P., *Wykorzystanie przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej z kontrastem do diagnostyki przetrwałego otworu owalnego u nurków.* PolHypRes 2019 Vol. 67 Issue 2 pp. 93 - 102
92 Petty G.W., et.al., *Transcranial Doppler Ultrasonography: Clinical Applications in Cerebrovascular Disease.* Mayo Clinic Proceedings, 1990. 65(10): p. 1350-1364.
93 Shovlin, C.L., *Pulmonary arteriovenous malformations.* Am J Respir Crit Care Med, 2014. 190(11): p. 1217-28.
94 Słupska, M., et.al., *Przetoki naczyniowe w praktyce kardiologicznej — wspólny obszar zainteresowania współczesnej kardiologii interwencyjnej i kardiochirurgii.* Folia Cardiologica, 2017. 12(5): p. 510-516.
95 Billon, C., et.al., *Right to left shunts in the adult.* Rev Mal Respir, 1994. 11(3): p. 229-38.
96 Mojadidi, M.K., et al., *Accuracy of transcranial Doppler for the diagnosis of intracardiac right-to-left shunt: a bivariate meta-analysis of prospective studies.* JACC Cardiovasc Imaging, 2014. 7(3): p. 236-50.
97 Ahn, S., et al., *Pulmonary Arteriovenous Fistula: Clinical and Histologic Spectrum of Four Cases.* J Pathol Transl Med, 2016. 50(5): p. 390-3.
98 Topol M. *Malformacje tętniczo-żylne i inne wrodzone choroby naczyń płucnych*, w Wielka Interna Pulmonologia wyd.II cz.2, Medical Tribune Polska, 2020
99 Iqbal, M., et al., *Pulmonary arteriovenous malformations: a clinical review.* Postgrad Med J, 2000. 76(897): p. 390-4.
100 Tellapuri, S., et.al., *Pulmonary arteriovenous malformations.* Int J Cardiovasc Imaging, 2019. 35(8): p. 1421-1428
101 Nakayama, M., et al., *Prevalence of pulmonary arteriovenous malformations as estimated by low-dose thoracic CT screening.* Intern Med, 2012. 51(13): p. 1677-81
102 Sloan, R.D., Cooley R.N., *Congenital pulmonary arteriovenous aneurysm.* Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med, 1953. 70(2): p. 183-210.
103 Dines, D.E., et al., *Pulmonary arteriovenous fistulas.* Mayo Clin Proc, 1974. 49(7): p. 460-5.
104 Dines, D.E., et.al., *Pulmonary arteriovenous fistulas.* Mayo Clin Proc, 1983. 58(3): p. 176-81.
105 Gossage, J.R., Kanj G., *Pulmonary arteriovenous malformations. A state of the art review.* Am J Respir Crit Care Med, 1998. 158(2): p. 643-61
106 Cao, L., *Characteristics and analysis of right-to-left shunt-related dizziness in patients without hypoxemia.* J Int Med Res, 2019. 47(7): p. 2921-2928.
107 Tang, S.E.L., et al., *Amplatzer vascular plug in occlusion of a pulmonary arteriovenous malformation.* Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2017. 25(4): p. 310-312.
108 Madden, D., et al., *Exercise after SCUBA diving increases the incidence of arterial gas embolism.* J Appl Physiol, 2013. (1985) 115(5): 716-722
109 Madden, D., et.al., *Intrapulmonary shunt and SCUBA diving: another risk factor?* Echocardiography, 2015. 32 Suppl 3: p. S205-10
110 Wilmshurst PT. *The role of persistent foramen ovale and other shunts in decompression illness.* Diving and Hyperbaric Medicine. 2015 Jun;45(2):98-104
111 Guenzani S, et.al., *Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers*. Diving Hyperb Med. 2016 Jun;46(2):111-6

112 Smart D, et.al., *Joint position statement on persistent foramen ovale (PFO) and diving. South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) and the United Kingdom Sports Diving Medical Committee (UKSDMC).* Diving Hyperb Med. 2015 Jun;45(2):129-31
113 Marinovic, J., et al. *Effects of successive air and trimix dives on human cardiovascular function.*Med Sci Sports Exerc 2009 41(12): 2207-2212
114 Ljubkovic, M., et al. *"High incidence of venous and arterial gas emboli at rest after trimix diving without protocol violations."* J Appl Physiol (1985) 2010. 109(6): 1670-1674
115 Lynch, J. J., et al. *Prevalence of right-to-left atrial shunting in a healthy population: detection by Valsalva maneuver contrast echocardiography.* Am J Cardiol, 1984, 53(10): 1478-1480
116 Alexandrov A., Joseph.M., *Transcranial Doppler: An Overview of its Clinical Applications*. The Internet Journal of Neuromonitoring. 1999 Volume 1 Number 1: p. 1-7
117 Katsanos A.H., et al. *Transcranial Doppler versus transthoracic echocardiography for the detection of patent foramen ovale in patients with cryptogenic cerebral ischemia: a systematic review and diagnostic test accuracy meta-analysis*. Ann Neurol. 2016. 79:625–35.
118 Rodrigues, A.C., et al., *Importance of adequately performed Valsalva maneuver to detect patent foramen ovale during transesophageal echocardiography.* J Am Soc Echocardiogr, 2013. 26(11): p. 1337-43
119 Johansson, M.C., et al., *Pitfalls in diagnosing PFO: characteristics of false-negative contrast injections during transesophageal echocardiography in patients with patent foramen ovales.* J Am Soc Echocardiogr, 2010. 23(11): p. 1136-42.
120 Kuijpers, J. M., et al., *Secundum atrial septal defect in adults: a practical review and recent developments.* Neth Heart J. 2015. 23(4): 205-211.
121 van der Linde, D., et al., *Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis.* J Am Coll Cardiol 2011. 58(21): 2241-2247.
122 Moons, P., et al., *Temporal trends in survival to adulthood among patients born with congenital heart disease from 1970 to 1992 in Belgium.* Circulation 2010 122(22): 2264-2272.
123 Gabriels, C., et al., *A different view on predictors of pulmonary hypertension in secundum atrial septal defect.* Int J Cardiol 2014. 176(3): 833-840.
124 Yong, G., et al., *Pulmonary arterial hypertension in patients with transcatheter closure of secundum atrial septal defects: a longitudinal study.* Circ Cardiovasc Interv 2009. 2(5): 455-462.
125 Rostain, J. C., Balon N.. *Diving: barometric pressure and neurochemical mechanisms*. J Soc Biol., 2006 (3): 257-263.
126 Konarzewski, W. H., *Paradoxical gas embolism in a scuba diver with an atrial septal defect.* Br Med J (Clin Res Ed) 1987. 294(6564): 121
127 Moon, R., et al., *Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. Lancet 1989. 333(8637): 513-514.*
128 Germonpré, P. *The medical risks of underwater diving and their control*., International SportMed Journal, Vol.7 No.1, 2006, pp, Vol.7 No.1,pp.1-15
129 Torti S.R., et.al., *Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale*, European Heart Journal, Volume 25, Issue 12, 1 June 2004, p: 1014–1020,
130 Gempp E, et.al. *Risks factors for recurrent neurological decompression sickness in recreational divers: a case-control study*. J Sports Med Phys Fitness. 2012;52:530-6.
131 Cartoni D, et.al., *Identification of professional scuba divers with patent foramen ovale at risk for decompression illness*. Am J Cardiol. 2004;94:270-3.

132 Pristipino, C., et al. *European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. Part II - Decompression sickness, migraine, arterial deoxygenation syndromes and select high-risk clinical conditions.* Eur Heart J 2021. 42(16): 1545-1553
133 Cantais,E., et al., *Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents.* Crit Care Med 2003. 31(1): 84-88.
134 Billinger, M., et al., *Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up.* Heart 2011.97(23): 1932-1937
135 Honěk, J., et al., *Effect of catheter-based patent foramen ovale closure on the occurrence of arterial bubbles in scuba divers.* JACC Cardiovasc Interv, 2014. 7(4): p. 403-8.
136 Walsh, K. P., et al. *Transcatheter closure of patent foramen ovale using the Amplatzer septal occluder to prevent recurrence of neurological decompression illness in divers.* Heart 1999. 81(3): 257-261
137 Pearman, A., et al. *An audit of persistent foramen ovale closure in 105 divers.* Diving Hyperb Med 2015. 45(2): 94-97.
138 Moon R.E., et al., *Patent Foramen Ovale and Fitness to Dive Consensus Workshop Proceeding*. Divers Alert Network, Durham, NC 2016: 156–160
139 Klingmann, C., et al. *Lower risk of decompression sickness after recommendation of conservative decompression practices in divers with and without vascular right-to-left shunt.* Diving Hyperb Med, 2012; 42(3): 146-150
140 Anderson, G., et al., *The effectiveness of risk mitigation interventions in divers with persistent (patent) foramen ovale.* Diving Hyperb Med, 2019. 49(2): p. 80-87
141 Wilmshurst, P. *Risk mitigation in divers with persistent (patent) foramen ovale.* Diving Hyperb Med, 2019, 49(2): 77-78
142 Germonpre, P., et al., *Evidence for increasing patency of the foramen ovale in divers.* Am J Cardiol 2005. 95(7): 912-915.
143 Araszkiewicz, A., et al. *Interwencyjne zamykanie przetrwałego otworu owalnego (PFO) w prewencji incydentów zakrzepowo-zatorowych.* Kardiologia Polska 2019. 77(III): 90-104.
144 Saver, J. L., et al., *Long-Term Outcomes of Patent Foramen Ovale Closure or Medical Therapy after Stroke.* N Engl J Med 2017. 377(11): 1022-1032.
145 Abdelaziz, H. K., et al., *Long-term outcomes of patent foramen ovale closure or medical therapy after cryptogenic stroke: A meta-analysis of randomized trials.* Catheter Cardiovasc Interv 2018. 92(1): 176-186.
146 Henzel, J., et al., *Transcatheter closure of patent foramen ovale for the secondary prevention of decompression illness in professional divers: a single-centre experience with long-term follow-up.* Kardiol Pol, 2018. 76(1): p. 153-157.
147 Vanden Eede, M., et al., *Percutaneous closure of patent foramen ovale for the secondary prevention of decompression illness in sports divers: mind the gap.* Undersea Hyperb Med, 2019. 46(5): p. 625-632.
148 Mattle HP, et al., *Percutaneous closure of patent foramen ovale in migraine with aura, a randomized controlled trial*. Eur Heart J. 2016;37:2029-36.
149 Tobis JM, et al., *Percutaneous Closure of Patent Foramen Ovale in Patients With Migraine*. J Am Coll Cardiol. 2017;70:2766-74
150 Shi YJ, et al., *Migraine and percutaneous patent foramen ovale closure: a systematic review and meta-analysis.* BMC Cardiovasc Disord. 2017;17:203.
151 Elbadawi A, et al. *Meta-analysis of randomized trials on percutaneous patent foramen ovale closure for prevention of migraine*. Acta Cardiol. 2019;74:124-9.

152 Kuhl HP, et al., *Transthoracic echocardiography using second harmonic imaging: Diagnostic alternative to transesophageal echocardiography for the detection of atrial right to left shunt in patients with cerebral embolic events.* J Am Coll Cardiol 1999;34:1823–1830
153 Zito C, et al., *Patent foramen ovale: Comparison among diagnostic strategies in cryptogenic stroke and migraine*. Echocardiography 2009;26:495– 503.
154 Monte I, et al., *Head-to-head comparison of real-time three-dimensional transthoracic echocardiography with transthoracic and transesophageal two-dimensional contrast echocardiography for the detection of patent foramen ovale.* Eur J Echocardiogr 2010;11:245–249
155 Hausmann, D., et al., *Diagnosis of patent foramen ovale by transesophageal echocardiography and association with cerebral and peripheral embolic events.* Am J Cardiol 1992.70(6): 668-672.
156 Belkin, R. N., et al., *Comparison of transesophageal and transthoracic echocardiography with contrast and color flow Doppler in the detection of patent foramen ovale."* Am Heart J 1994. 128(3): 520-525.
157 Otto C*: Cardiac masses and potential cardiac source of embolus, in Clinical Echocardiography"*. 5th ed. Philadelphia, PA, Elsevier Saunders, 2013, pp. 395–417.
158 Stafford B et al. *Comparison of Transthoracic Echocardiography, Transesophageal Echocardiography, and Transcranial Doppler in the Detection of Patent Foramen Ovale as the Etiology for Cryptogenic Stroke.*, Journal of Diagnostic Medical Sonography 2019, Vol. 35(2) 127–133.

9 Zgoda komisji bioetycznej

Komisja Bioetyczna
przy Okręgowej Izbie Lekarskiej
w Gdańsku

OKRĘGOWA IZBA LEKARSKA

KB – 6 / 19

Gdańsk, dnia 31 stycznia 2019 r.

Główny badacz: Lek. Krzysztof Dziewiątowski

Miejsce prowadzenia badania:
7 Szpital Marynarki Wojennej, ul. Polanki 117, 80-305 Gdańsk

Tytuł badania: ***USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z podaniem kontrastu dożylnie (c-TCD) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków.***

Komisja Bioetyczna przy OIL w Gdańsku nie zgłasza zastrzeżeń dla przeprowadzenia w/w badania naukowego.

Komisja działa zgodnie z Zasadami Good Clinical Practice.

PRZEWODNICZĄCY
KOMISJI BIOETYCZNEJ
przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Gdańsku
Dr hab. n. med. Wojciech Makowiec

tel. 58 524 32 50
fax 58 524 32 51

ul. Śniadeckich 32, 80-304 Gdańsk
e-mail: bioetyka@komisjabioetyczna.pl
www.komisjabioetyczna.pl

10 Załączniki

Załącznik nr 1.

INFORMACJA DLA UCZESTNIKA BADANIA

dotycząca procedury wykonywania

USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych

z podaniem kontrastu dożylnie (c-TCD) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego

Imię i nazwisko uczestnika badania _____

PESEL/Data urodzenia _____

Cel badania: wykrywanie obecności przetrwałego otworu owalnego (PFO) u nurków zawodowych

Przetrwały otwór owalny (PFO) jest częstą anomalią przegrody międzyprzedsionkowej w sercu, występującą u około 25% ogółu populacji. PFO jest uważane za potencjalny czynnik ryzyka mózgowej postaci choroby dekompresyjnej, zwłaszcza w przypadku nawrotowych epizodów DCI.
PFO może też być związany z częstszym występowaniem napadów migreny (w szczególności migreny z aurą) oraz może odpowiadać za niewyjaśnione ogniska naczyniopochodne w obrębie mózgowia uwidaczniane w badaniach TK czy MRI.
W diagnostyce PFO wykorzystywane jest dopplerowskie USG przezczaszkowe z wykorzystaniem podawanego dożylnie kontrastu (mieszanka soli fizjologicznej i mikropęcherzyków powietrza). Badanie to w 89–100% wykrywa obecność PFO, jest bezpieczne i mało inwazyjne – wymagane jest jedynie założenie wkłucia dożylnego w obrębie zgięcia łokciowego. Metoda ta może być szczególnie przydatna jako narzędzie wstępnej (przesiewowej) diagnostyki PFO u nurków zawodowych

Opis proponowanego badania diagnostycznego.

Przed badaniem pacjent wymagał będzie założenia wkłucia do żyły w obrębie zgięcia łokciowego. Następnie przeprowadzone będzie klasyczne USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych. Po zakończeniu pierwszej fazy badania, pacjentowi zakłada się na głowę opaskę utrzymującą i stabilizującą sondę USG do badania tętnic śródczaszkowych. Sonda ta monitorować będzie przepływ krwi w tętnicy środkowej mózgu. Podczas tej fazy badania dożylnie podawany będzie kontrast składający się z soli fizjologicznej z zawieszonymi w niej mikropęcherzykami powietrza. W trakcie badania pacjent będzie proszony o nabranie głębokiego wdechu oraz wykonanie parcia przy zatrzymanym w płucach powietrzu. Lekarz prowadzący badanie oceniał będzie, czy w obrębie badanej tętnicy środkowej mózgu uwidocznią się tak zwane sygnały hiperintensywne, które pośrednio świadczyć będą o obecności PFO.

Spodziewane korzyści związane z uczestnictwem w badaniu

W przypadku stwierdzenia podejrzenia przecieku żylno – tętniczego w badanie TCD z kontrastem zalecane będzie pogłębienie diagnostyki w Poradni Kardiologicznej. „Złotym standardem" w diagnostyce PFO pozostaje echokardiografia przezprzełykowa (TEE) z użyciem kontrastu, pozwalająca na bezpośrednie uwidocznienie przecieku pomiędzy prawym i lewym. Czułość i specyficzność TEE w diagnostyce PFO sięgają około 100% Ograniczeniem tej metody są inwazyjność i znaczny dyskomfort dla pacjenta (konieczność umieszczenia sondy USG w przełyku).
W związku z tym echokardiografia przezprzełykowa wykonywane jest zwykle w przypadku, gdy w opisanym powyżej badaniu c-TCD, stwierdzi się objawy sugerujące występowanie PFO.

Możliwe powikłania związane z proponowanym badaniem diagnostycznym

USG dopplerowskie tętnic dogłowowych oraz śródczaszkowych z podaniem kontrastu jest badaniem bezpiecznym. W przypadku podania zalecanego przez międzynarodowe wytyczne kontrastu (mniej niż 1 cm^3 powietrza w mieszance), nie obserwowano do tej pory żadnych działań niepożądanych związanych z procedurą. Powyższa ilość powietrza nie jest wystarczająca do tego, by spowodować zatory powietrzne w tętnicach mózgowia, mikropęcherzyki powietrza są natomiast usuwane z krwi w obrębie płuc w ciągu kilkudziesięciu sekund.

Data i podpis uczestnika badania

….....

Załącznik nr 2

INFORMACJA DLA UCZESTNIKA BADANIA

dotycząca procedury wykonywania

USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych

z podaniem kontrastu dożylnie (c-TCD) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego

OŚWIADCZENIE PACJENTA

Oświadczam, że w pełni zrozumiałem/am informacje zawarte w tym formularzu oraz przekazane mi podczas rozmowy z lekarzem. Zapewniono mi możliwość zadawania pytań i na wszystkie udzielono odpowiedzi.
Oświadczam, że zostałem/am poinformowany/a o sposobie wykonania badania TCD z podaniem kontrastu dożylnie, oczekiwanych rezultatach, ryzyku wystąpienia powikłań, innych alternatywnych metodach diagnostyki, możliwych negatywnych skutkach dla mojego zdrowia oraz o możliwości wycofania mojej zgody w każdej chwili.

Wyrażam świadomą zgodę na przeprowadzenie badania TCD z podaniem kontrastu dożylnie.

_____ _____ _____

data godzina podpis Pacjenta

OŚWIADCZENIE LEKARZA

Oświadczam, że przedstawiłem Pacjentowi informację o sposobie wykonania TCD z podaniem kontrastu dożylnie, oczekiwanych rezultatach, ryzyku wystąpienia powikłań, innych alternatywnych metodach diagnostyki PFO oraz o możliwych negatywnych skutkach dla jego zdrowia w przypadku odmowy wykonania zaproponowanego badania. Poinformowałem pacjenta o możliwości wycofania zgody w każdej chwili.

_____ _____ _____

data godzina podpis i pieczątka lekarza

Załącznik nr 3

Data ….....

Ankieta do badania

„USG dopplerowskie tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z podaniem kontrastu dożylnie

(c-TCD) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków”

Imię i nazwisko..... Wiek..... płeć - K / M

Wzrost..... Masa ciała.....

Gdzie Pan / Pani nurkuje

Marynarka Wojenna RP	
Straż Pożarna	
Nurek komercyjny	
Nurkowanie amatorskie	

Jak długo Pan / Pani nurkuje? - ….....lat

Czy wystąpił u Pana / Pani wypadek nurkowy T / N

Jeśli tak, to jaki

- Uraz ciśnieniowy ucha środkowego / zatok .....
- Uraz ciśnieniowy płuc ….....
- Choroba dekompresyjna z bólami stawów i mięśni …..
- Choroba dekompresyjna z objawami skórnymi ….....
- Choroba dekompresyjna z objawami płucnymi.....
- Choroba dekompresyjna z objawami neurologicznymi ze strony rdzenia kręgowego ….. lub uszkodzeniem mózgowia.....
- Choroba dekompresyjna z objawami przedsionkowymi …….
- Choroba dekompresyjna z objawami ogólnymi…….

Czy miał Pan / Pani wykonywane badanie ECHO przezklatkowe T / N

Czy miał Pan / Pani wykonywane badanie ECHO przezprzełykowe T / N

Czy wykryto obecność PFO T / N

Czy wykryto obecność przecieku żylno – tętniczego (prawo – lewo) T / N

Czy występują u Pana / Pani migrenowe bóle głowy T / N

Czy w wykonanych dotychczas badaniach RTG lub TK klatki piersiowej

wykryto w obrębie płuc obecność malformacji tętniczo – żylnej T / N

Uwagi ….....

…….

11 Streszczenie

Celem pracy było oszacowanie częstości występowania przecieku żylno - tętniczego w grupie 78 nurków, w tym 30 nurków Marynarki Wojennej, 11 strażaków Państwowej Straży Pożarnej oraz 37 nurków amatorów przy wykorzystaniu przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej z kontrastem (cTCD). Wyniki pracy miały również określić przydatności cTCD w wykrywaniu RLS w procesie kwalifikowania kandydatów na nurków wojskowych w czasie badań wykonywanych przez Wojskową Komisję Morsko -Lekarską. Dodatkowym celem było porównanie skuteczności kontrastowej sonografiii dopplerowskiej oraz echokardiografii przezklatkowe bez kontrastu (TTE), stosowanej obecnie rutynowo w Wojsku Polskim w procesie kwalifikowania kandydatów na nurków, w wykrywaniu przecieku żylno – tętniczego. Do wykrywania przecieku żylno - tętniczego wykorzystywano dopplerowski aparat USG do badań przezczaszkowych Sonara, wyposażony w sondy o częstotliwości 2 MHz oraz 4 MHz z dopplerem PW (Pulse Wave). W trakcie badania podawano dożylnie kontrast – zawiesinę mikropęcherzyków powietrza w soli fizjologicznej. Przy wykorzystaniu tej metody przeciek żylno – tętniczy wykryto u 20,5% badanych nurków, w tym u 9 spośród 37 osób, u których w wykonywanej wcześniej echokardiografii przezklatkowej nie wykryto RLS. Spośród wszystkich 10 nurków ze stwierdzonym w cTCD przeciekiem żylno – tętniczym, u których wykonano kontrolną echokardiografię przezprzełykową, obecność przetrwałego otworu owalnego potwierdzono u 4 osób. TEE nie potwierdziła obecność PFO w przypadku przecieków małego i umiarkowanego stopnia. Na podstawie analizy statystycznej wyników diagnostyki przecieku żylno – tętniczego przy pomocy standardowej echokardiografii przezklatkowej, kontrastowego TEE oraz cTCD stwierdzono, że najmniej skuteczną metodą diagnostyczną wykrywającą obecność przecieku żylno – tętniczego była echokardiografia przezklatkowa, drugą w kolejności była kontrastowa echokardiografia przezprzełykowa, a najwięcej przecieków żylno -tętniczych wykryto przy pomocy kontrastowej dopplerowskiej sonografii przezczaszkowej. Chociaż przypadki choroby dekompresyjnej związanej z obecnością przecieku żylno - tętniczego są rzadkie, niemniej jednak jej następstwa mogą być bardzo poważne. Jednym z czynników utrudniających wdrożenie przesiewowych badań w kierunku RLS u nurków jest ograniczona dostępność do tanich, prostych, nieinwazyjnych i efektywnych metod diagnostycznych. Przezczaszkowe USG dopplerowskie z kontrastem jest równie skuteczne, a w pewnych przypadkach nawet efektywniejsze niż ECHO przezprzełykowe w wykrywaniu przecieku żylno tętniczego w PFO, będąc jednocześnie metodą znacznie tańszą i mniej inwazyjną niż TEE. W oparciu o obecnie obowiązujące wytyczne i zalecenia i wyniki badań, włączenie przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej z kontrastem do wstępnych badań żołnierzy zawodowych oraz nurków zawodowych pozwoliłoby już na wstępie wychwycić osoby z przeciekiem żylno – tętniczym, co podniosłoby bezpieczeństwo nurkowania oraz pomogłoby uniknąć rzadkich, ale ciężkich powikłań choroby dekompresyjnej.

12 Summary

The purpose of this study was to estimate the prevalence of right – to – left shunt (RLS) with contrast enhanced transcranial Doppler sonography (cTCD) in a group of 78 divers, including 30 Polish Navy divers, 11 divers from the Polish State Fire Service and 37 amateur divers. The results of the study were also intended to assess the usefulness of cTCD in detecting RLS in the medical qualification process of military diver candidates during examinations performed by the Polish Navy Military Medical Board. An additional goal was to compare efficacy of cTCD and the noncontrast transthoracic echocardiography (TTE), which is now routinely used in the Polish Armed Forces divers' medical assessment protocol, in the right - to left shunt detection. A Sonara transcranial Doppler ultrasound machine equipped with 2 MHz and 4 MHz pulse wave (PW) Doppler probes was used to detect right – to – left shunt. During the examination, the contrast agent (air microbubbles suspended in an isotonic saline solution) was administered intravenously. Using this method, right – to – left shunt was detected in 20.5% cases, including 9 of 37 divers in whom RLS had not been detected by previous transthoracic echocardiography. Of all 10 divers with right – to – left shunt detected by cTCD, who underwent follow-up transoesophageal echocardiography, the presence of a patent foramen ovale was confirmed in 4 divers. Transesophageal echocardiography failed to detect PFOs with the small and moderate RLS. The statistical analysis of the RLS detecting efficacy by the standard transthoracic echocardiography, the contrast enhanced TEE, and cTCD showed that the transthoracic echocardiography was the least sensitive diagnostic method for detecting right – to – left shunt. The contrast enhanced transesophageal echocardiography was the second most sensitive, and the contrast enhanced transcranial Doppler sonography detected the most right – to – left shunts. Although the cases of decompression sickness associated with the presence of a right – to – left shunt are very rare, nevertheless the consequences can be very serious. One factor hindering the implementation of screening for RLS in divers is the limited availability of low-cost, simple, noninvasive and effective diagnostic methods. Contrast enhanced transcranial Doppler sonography is as sensitive, and in some cases even more sensitive method than transesophageal echocardiography in right – to – left shunt detection in PFO, being at the same time much cheaper and less invasive than TEE. Based on the current guidelines, recommendations and study results, in order to increase diving safety, it seems to be reasonable to develop standards for initial PFO screening in certain groups of divers – especially military and professional divers. Inclusion of the contrast enhanced transcranial Doppler in initial examinations of those groups of divers would allow early detection of diving personnel with RLS, which would improve diving safety and help avoid rare but severe complications of the decompression sickness.

13 Wykaz rycin

Ryc. 1 Schemat układu oddechowego

Ryc. 2 Schemat układu krążenia

Ryc. 3 Schemat przedstawiający rozwój przegrody międzyprzedsionkowej serca

Ryc. 4 Schemat obrazujący mieszanie się krwi żylnej z tętniczą poprzez przetrwały otwór owalny

Ryc. 5 Schemat obrazujący okienka kostne wykorzystywane w czasie przezczaszkowej sonografii dopplerowskiej

Ryc. 6 Zdjęcie pokazujące sposób mocowania opaski stabilizującej sondę 2MHz przy prawym okienku skroniowym

Ryc. 7 Zdjęcie pokazujące sposób przygotowywania kontrastu podawanego w czasie badania cTCD do żyły odłokciowej.

Ryc. 8 Schemat przedstawiający różnego stopnia przeciek żylno – tętniczy na tle widma tętnicy środkowej mózgu w czasie badania cTCD

Ryc. 9 Skategoryzowany histogram przedstawiający częstość występowania przecieku żylno – tętniczego w poszczególnych grupach nurków. -

Ryc.10 Skategoryzowany histogram przedstawiający stopień wykazanego w c-TCD przecieku żylno – tętniczego w poszczególnych grupach nurków

Ryc. 11 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u wszystkich nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym

Ryc.12 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków Marynarki Wojennej ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym

Ryc.13 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków amatorów ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym

Ryc.14 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków Straży Pożarnej ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno – tętniczym.

Ryc.15 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u nurków Marynarki Wojennej z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE

Ryc.16 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u nurków amatorów z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE

Ryc.17 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość przetrwałych otworów owalnych u wszystkich nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE

Ryc.18 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezprzełykowej wykonanych po badaniu cTCD w postaci histogramu z uwzględnieniem podziału na grupy

Ryc.19 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezprzełykowej wykonanych po badaniu cTCD bez podziału na grupy.

Ryc.20 Skategoryzowany histogram przedstawiający ilość nurków z obecnością PFO, u których wykonano przezskórne zamknięcie PFO przy pomocy okludera

Ryc. 21 Wykres podsumowujący przedstawiający ilość nurków z obecnością PFO, u których wykonano przezskórne zamknięcie PFO przy pomocy okludera.

Ryc.22 Wykres ramka – wąs przedstawiający wyniki testu Kruskala - Wallisa oceniający różnice statystyczne między poszczególnymi grupami nurków w zależności od wieku

Ryc.23 Wykres ramka – wąs przedstawiający zależność stopnia przecieku żylno – tętniczego od wieku w grupie nurków Marynarki Wojennej.

Ryc.24 Wykres ramka – wąs przedstawiający zależność stopnia przecieku żylno – tętniczego od lat nurkowania w grupie nurków Marynarki Wojennej.

Ryc.25 Diagram przedstawiający proponowany algorytm diagnostyczny poszukiwania przetrwałego otworu owalnego

14 Wykaz tabel

Tab. 1 Klasyfikacja stopnia przecieku z krążenia małego do dużego przy jednokanałowym monitorowaniu tętnicy środkowej mózgu

Tab. 2 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezklatkowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków

Tab. 3 Ilość i odsetek badań Echokardiografii przezprzełykowej wykonanych w poszczególnych grupach ankietowanych nurków przed badaniem TCD

Tab. 4 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu Echokardiografii przezklatkowej (TEE) oraz echokardiografii przezprzełykowej (TTE) przed badaniem cTCD

Tab. 5 Ilość i odsetek wykrytych przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków przy wykorzystaniu USG dopplerowskiego tętnic dogłowowych i śródczaszkowych z dożylnym podaniem kontrastu (cTCD)

Tab. 6 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) w poszczególnych grupach badanych nurków w rozbiciu na stopień przecieku

Tab. 7 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezklatkową

Tab. 8 Ilość i odsetek wykrytych przy pomocy cTCD przecieków żylno – tętniczych (RLS) u nurków, u których wcześniej wykonano echokardiografię przezprzełykową

Tab. 9 Ilość i odsetek badań TEE wykonanych w celu potwierdzenia obecności PFO u nurków ze stwierdzonym w badaniu cTCD przeciekiem żylno - tętniczym

Tab.10 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych u nurków z RLS potwierdzonych przy pomocy badania TEE

Tab.11 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków z minimalnym przeciekiem żylno - tętniczym

Tab.12 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków z umiarkowanym przeciekiem żylno – tętniczym

Tab.13 Ilość i odsetek przetrwałych otworów owalnych potwierdzonych przy pomocy badania TEE u nurków ze znacznego stopnia przeciekiem żylno tętniczym

Tab.14 Ilość i odsetek malformacji tętniczo- żylnych w obrębie płuc wykrytych w badaniu RTG lub TK klatki piersiowej

Tab.15 Łączna ilość badań wykonanych przy TEE lub TTE u nurków ze stwierdzonym RLS

Tab.16 Łączna ilość badań wykonanych przy TEE lub TTE u nurków ze stwierdzonym RLS oraz ilość wykrytych przy ich pomocy ASD II

Tab.17 Ilość zgłoszonych przez nurków epizodów choroby dekompresyjnej w korelacji do wykazanego w cTCD przecieku żylno – tętniczego oraz PFO wykrytego w kontrolnym cTEE

Tab.18 Ilość i odsetek nurków ze stwierdzonym PFO, zakwalifikowanych do endowaskularnego zamknięcia przetrwałego otworu owalnego w Klinice Kardiologii Dziecięcej i Wad Wrodzonych Serca Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego

Tab.19 Statystyki opisowe dotyczące wartości średnich dla wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania dla nurków Marynarki Wojennej

Tab.20 Statystyki opisowe dotyczące wartości średnich dla wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania dla nurków Państwowej Straży Pożarnej

Tab.21 Statystyki opisowe dotyczące wartości średnich dla wieku, masy ciała, wzrostu, BMI i ilości lat nurkowania dla nurków amatorów..

Tab.22 Tabela przedstawiająca wynik testu Kruskala –Wallisa oceniający różnice statystyczne między poszczególnymi grupami nurków w zależności od wieku

Tab.23 Analiza w podziale na stopień przecieku żylno - tętniczego dla poszczególnych nurków Marynarki Wojennej w zależności od zmiennych - wiek, masa ciała, wzrost, BMI, lata nurkowania

Tab.24 Porównanie efektywności poszczególnych metod (echokardiografia przezklatkowa, echokardiografia przezprzełykowa i TCD z podawaniem kontrastu dożylnie) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków w całej analizowanej grupie.

Tab.25 Porównanie efektywności poszczególnych metod (echokardiografia przezklatkowa, echokardiografia przezprzełykowa i TCD z podawaniem kontrastu dożylnie) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków Marynarki Wojennej

Tab.26 Porównanie efektywności poszczególnych metod (echokardiografia przezklatkowa, echokardiografia przezprzełykowa i TCD z podawaniem kontrastu dożylnie) w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego u nurków amatorów

Tab.27 Porównanie efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków Marynarki Wojennej oraz nurków amatorów

Tab.28 Porównanie efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków Marynarki Wojennej.

Tab.29 Porównanie efektywności przezczaszkowej ultrasonografii dopplerowskiej z kontrastem oraz echokardiografii przezklatkowej (TTE) w diagnostyce przecieku żylno – tętniczego u nurków amatorów

15 Raport z badania programem antyplagiatowym.