

WYKORZYSTANIE PRZECZASZKOWEJ SONOGRAFII DOPPLEROWSKIEJ Z KONTRASTEM DO DIAGNOSTYKI PRZETRWAŁEGO OTWORU OWALNEGO U NURKÓW

Krzysztof Dziewiatowski¹⁾, Piotr Siermontowski^{2,3)}

¹⁾ Oddział Udarowy 7 Szpital Marynarki Wojennej w Gdańsku

²⁾ Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia

³⁾ Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowy Instytut Medyczny, Gdynia

STRESZCZENIE

Przetwały otwór owalny (PFO) jest występującym u około 25 % dorosłej populacji wariantem anatomicznym polegającym na utrzymywaniu się połączenia między prawym i lewym przedsionkiem serca. O ile w większości przypadków nie ma on znaczenia klinicznego, to u części ludzi może dochodzić do przecieku żylny tętniczego, prowokowanego wzrostem ciśnienia w klatce piersiowej (na przykład kaszel, kichanie, dźwiganie ciężarów). W takim przypadku dojdź może do wystąpienia paradoksalnej zatorowości i przedostawania się z krążenia żylnego do tętniczego materiału zatorowego wywołującego udary niedokrwienne mózgu. Materiał ten mogą stanowić np. pęcherzyki gazu występujące w chorobie dekompresyjnej. Złotym standardem w wykrywaniu PFO jest przezprzetkowa echokardiografia z dożylnym podaniem kontrastu (TEE), której czułość i specyficzność w diagnostyce PFO sięga 94%-100%. TEE jest jednak badaniem inwazyjnym, które niesie ze sobą potencjalnie niebezpieczne działania niepożądane. Alternatywą dla TEE jest przezczaszkowa sonografia dopplerowska z kontrastem (c-TCD). Jako metoda znacznie mniej inwazyjna niż TEE, tania, bezpieczna oraz cechująca się bardzo wysoką czułością i specyficznością (odpowiednio 97% i 93%), może w znaczący sposób poprawić wykrywanie przypadków PFO z przeciekiem żylny – tętnicznym oraz umożliwić przesiewowe badania nurków i kandydatów na nurków.

Słowa kluczowe: przetwały otwór owalny, nurkowanie, przeciek tętniczo – żylny, paradoksalna zatorowość, choroba dekompresyjna, przezczaszkowa ultrasonografia dopplerowska.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2019 Vol. 67 Issue 2 pp. 93 - 102

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2019-0008

Strony: 9, rysunki: 4, tabele: 0

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

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 03.09.2018 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 20.10.2018 r.

Publisher

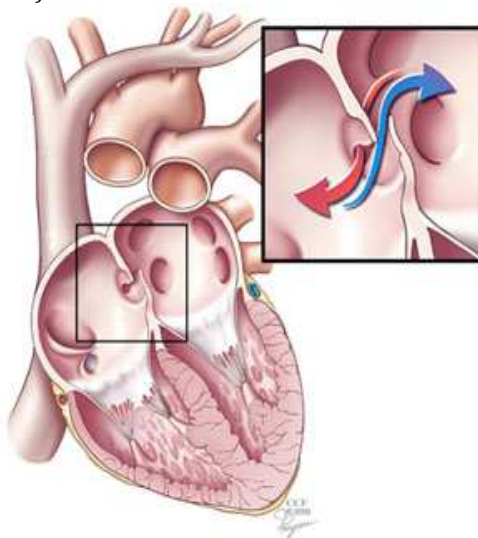
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Przetrwały otwór owalny (PFO) jest występującym u około 25 % dorosłej populacji wariantem anatomicznym polegającym na utrzymywaniu się połączenia między prawym i lewym przedsionkiem serca [1,2]. U płodu otwór owalny jest bardzo ważną strukturą, przez którą przepływa całość krążącej krwi, omijając nie funkcjonujące w życiu płodowym płuca. Po porodzie dochodzi do rozprężenia płuc, podjęcia wymiany gazowej w pęcherzykach płucnych oraz wzrostu ciśnienia w lewym przedsionku do wartości przewyższających ciśnienie w prawym przedsionku, co w warunkach prawidłowych prowadzi u większości niemowląt do zamknięcia otworu owalnego w ciągu pierwszego roku życia [2].

U części zdrowych osób nie zamyka się on jednak całkowicie i w jego miejscu pozostaje różnej średnicy kanał otoczony rąbkami tkanki łącznej, tworzącym rodzaj zastawki. O ile w zdecydowanej większości przypadków PFO nie ma żadnego znaczenia klinicznego, o tyle w pewnych sytuacjach związanych ze zwiększeniem ciśnienia w prawym przedsionku (kaszel, kichanie, tłocznia brzuszna, dźwiganie ciężarów, nadciśnienie płucne, niedomykalność zastawki trójdzielnej itp.) może dojść do jego otwarcia i wystąpienia krótkotrwałego przecieku krwi żylnego z prawego do lewego przedsionka - tak zwany przeciek żylny - tętniczy lub przeciek prawo-lewo (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat przedstawiający przetrwały otwór owalny. Niebieska i czerwona strzałka obrazuje mieszanie się krwi żylnego i tętniczego. Źródło: <https://my.clevelandclinic.org/-/scassets/images/org/health/articles/patent-foramen-ovale-02-heart-pfo-combo.ashx>.

W przypadku przecieku żylny - tętniczego może dojść do wystąpienia paradoksalnej zatorowości, gdzie powstające w układzie żylnym zatory czy zakrzepy przedostają się z krążenia żylnego do tętniczego wywołując udary niedokrwienne mózgu [3,4,5,6]. W czasie nurkowania, poprzez PFO do naczyń tętniczych przedostawać się mogą natomiast pęcherzyki gazu pojawiające się w trakcie normalnej dekompresji, czy też w przebiegu choroby dekompresyjnej. W następstwie tych zatorów rozwinąć się może ciężka, neurologiczna postać choroby dekompresyjnej (z niedowładami i porażeniami kończyn, zaburzeniami czucia, zaburzeniami widzenia, mowy, porażeniem zwieraczy, zaburzeniami orientacji czy utratą świadomości po nurkowaniu) [7,8,9].

Obecność przecieku prawo - lewo przyczynić się również może do subklinicznego uszkodzenia mózgowia u nurków w następstwie zatorowości mikropęcherzykami gazu podczas kolejnych nurkowań (nawet przy braku epizodów choroby dekompresyjnej w wywiadzie chorobowym) [10]. Według obecnie obowiązujących wytycznych złotym standardem w diagnostyce przetrwałego otworu owalnego jest echokardiografia przezprzełykowa (TEE) z dożylnym podaniem kontrastu, której czułość i specyficzność w diagnostyce PFO sięga 94%-100% w stosunku do około 80-86% w przypadku echokardiografii przezklatkowej [11,12,13], stosowanej np. w orzecznictwie wojskowym.

Dzięki wprowadzeniu sondy echokardio-graficznej do przełyku, wyeliminować można trudności i artefakty związane z tuszą pacjenta czy obecnością struktur kostnych klatki piersiowej (mostek i żebra). Badanie przezprzełykowe stanowi jednak bardzo często duży dyskomfort dla badanego. Podkreśla się również, że część przecieków żylny - tętniczych (RLS - right - left shunt) może być przeoczonych w TEE z powodu trudności w wykonaniu przez pacjenta w trakcie badania próby Valsalwy [11,14]. Echokardiografia przezprzełykowa jest badaniem inwazyjnym, obarczonym 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 do zatrzymania krążenia włącznie oraz zgon (mniej niż 0,01%) [15]. Barierą ograniczającą szerokie wykorzystanie TEE w diagnostyce PFO jest również wysoki koszt i dostępność sprzętu.

Alternatywą do echokardiografii przezprzełykowej w detekcji przecieku żylny - tętniczego jest ultrasonograficzne badanie dopplerowskie tętnic dogłowych i wewnątrzczaszkowych z kontrastem („ślepy doppler”, Transcranial Doppler - TCD), które jako metoda tania, nieinwazyjna, bezpieczna oraz cechująca się bardzo wysoką czułością i specyficznością (odpowiednio 97% -100% i 93-98%) [11,14,16] może w znaczący sposób poprawić wykrywanie przypadków PFO z przeciekiem żylny - tętnicznym oraz umożliwić przesiewowe badania nurków i kandydatów na nurków.

Aparaty do ultrasonograficznego badania dopplerowskiego tętnic dogłowych i wewnątrzczaszkowych („ślepy doppler”, Transcranial Doppler - TCD), szeroko wykorzystywane są w Oddziałach Udarowych do diagnostyki pacjentów

z udarem niedokrwiennych mózgu. Pierwsze badania przepływu w tętnicach śródczaszkowych wykonywane były w roku 1982 i od tego czasu udowodniono przydatność TCD w diagnostyce schorzeń naczyniowych układu nerwowego, włączając w to diagnostykę PFO [11,14,16,17].

W roku 2000 stworzono standard wykrywania przecieku żylna tętniczego przy pomocy sonografii dopplerowskiej [18], dzięki czemu badania te cechują się dużą czułością i specyficznością, porównywalną z echokardiografią przezprzełykową [11,14,16].

USG przezczaszkowe z podaniem kontrastu (c-TCD) opiera się na monitorowaniu przepływu w naczyniach mózgowych (tętnica środkowa mózgu) w trakcie dożylnego podawania kontrastu. W badaniu wykorzystuje się dopplerowskie aparaty ultrasonograficzne oceniające kierunek, prędkość oraz spektrum przepływu w badanych tętnicach („ślepy doppler”). Aparaty te nie dają informacji na temat morfologii naczyń krwionośnych, jednak dokładnie oceniają spektrum przepływu krwi w ich obrębie, są w stanie również wykazać obecność materiału mikrozatorowego, w tym mikropęcherzyków gazu płynących wraz z krwią. W diagnostyce przecieku żylna – tętniczego można wykorzystywać zawierające mikropęcherzyki gazu gotowe kontrasty ultrasonograficzne. Ze względu na ich dość wysoką cenę, szeroko stosuje się równie skuteczny, przygotowywany ad hoc kontrast składający się z soli fizjologicznej z zawieszonymi w niej mikropęcherzykami powietrza

Podczas badania pacjent znajduje się w pozycji leżącej. Zgodnie ze standardem [18], przed rozpoczęciem oceny ultrasonograficznej pacjent musi mieć założone do żyły odłokciowej w obrębie zgięcia łokciowego wkłucie dożylnie 18G. Po założeniu dostępu dożylnego przeprowadza się klasyczne badanie dopplerowskie tętnic dogłowych i śródczaszkowych. W jego trakcie ocenia się przepływ w tętnicach szyjnych, kręgowych, podobojczykowych oraz tętnicach mózgowia. 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 (Rys. 2).

Po uzyskaniu prawidłowego spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu, poprzez giętki wężyk do żyły odłokciowej podawany jest w bolusie kontrast składający się z soli fizjologicznej i zawieszonych w niej mikropęcherzyków powietrza. Kontrast powstaje bezpośrednio przed jego podaniem w następstwie energicznego mieszania 9 cm³ soli fizjologicznej oraz 1 cm³ powietrza, które znajdują się w dwóch strzykawkach połączonych kranikiem trójdrożnym. Przed podaniem bolusu, ze strzykawki usuwa się nadmiar powietrza (Rys. 3)



Rys. 2 Pacjent z założoną opaską stabilizującą sondę USG do badania tętnic wewnątrzczaszkowych. Źródło: materiały własne.



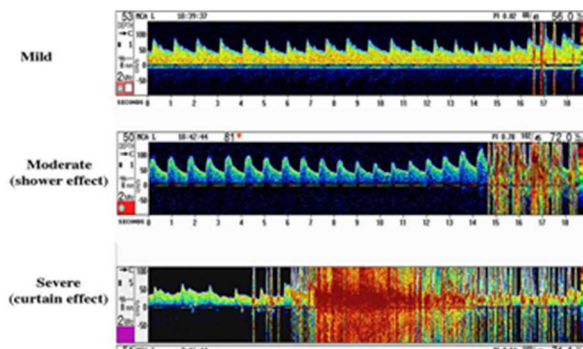
Rys. 3 Sposób przygotowywania kontrastu – widoczne połączone kranikiem trójdrożnym strzykawki z powietrzem i solą fizjologiczną. Źródło: materiały własne.

W warunkach fizjologicznych, gdy nie ma połączenia pomiędzy krążeniem płucnym i krążeniem dużym (krew żylna nie miesza się z tętniczą) mikropęcherzyki powietrza z kontrastu wchłaniane są w pęcherzykach płucnych i następnie wydalane podczas wydechu, w związku z czym nie zostają wykryte w tętnicy środkowej mózgu. W przypadku obecności przecieku żylna - tętniczego (najczęściej w przypadku obecności PFO) część mikropęcherzyków powietrza przedostaje się do krwi tętniczej i będzie rejestrowana w tętnicy środkowej mózgu jako sygnały odpowiadające mikrozatorowości HITS (High Intensity Transient Signals). Charakteryzują się one krótkim czasem trwania (<300ms) i większym natężeniem (>3dB ponad sygnał tła), co wyraźnie widać na tle prawidłowego spektrum przepływu w monitorowanym naczyniu. Wykrytemu sygnałowi towarzyszy również charakterystyczny krótki i intensywny dźwięk przypominający trzask.

W celu zwiększenia czułości, w trakcie badania wykonuje się u pacjenta manewr Valsalwy – zwiększenie ciśnienia w klatce piersiowej zwiększa prawdopodobieństwo spowodowania przecieku krwi z prawego do lewego przedsionka poprzez otwór owalny. Manewr Valsalwy stosuje się dopiero wtedy, gdy po dożylnym podaniu kontrastu w spoczynku, przy spokojnym oddychaniu, nie udaje się wykryć sygnałów HITS. Zgodnie z procedurą, próbę Valsalwy rozpoczyna się 5 sekund po podaniu kontrastu, powinna trwać ona 10 sekund.

Standardowo ocena występowania sygnałów mikrozatorowości po podaniu kontrastu przeprowadzana jest czterokrotnie - raz w spoczynku oraz trzykrotnie z towarzyszącym manewrem Valsalvy. W przypadku, gdy w trakcie pierwszego podania kontrastu bez towarzyszącej próby Valsalvy, stwierdzi się obecność licznych sygnałów HITS - zwykle ponad 30, badanie kończy się w celu uniknięcia zatorów powietrznych, między innymi w obrębie tętnic siatkówki. Podczas całej procedury należy przez około 60 s monitorować spektrum przepływu w tętnicy środkowej mózgu i śledzić pojawianie się sygnałów HITS świadczących o mikrozatorowości na podłożu przecieku prawo - lewo. Wynik badania na obecność RLS uznaje się za negatywny, gdy w trakcie trzech kolejnych prób z manewrem Valsalvy nie stwierdzi się mikrozatorowości [18,19].

Po zakończeniu badania ocenia się stopień przecieku żylny - tętniczego w czterostopniowej skali (Rys. 4 i Tab. 1). W zależności od ilości stwierdzonych pęcherzyków określa się przeciek jako minimalny, umiarkowany i znaczny [18].



Rys. 4 Stopień RLS w zależności od ilości sygnałów HITS na tle spektrum tętnicy środkowej mózgu.

Tab. 1

Skala oceniająca stopień przecieku żylny - tętniczego (RLS).

Liczba sygnałów HITS		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

Stwierdzenie przecieku żylny-tętniczego nie jest jednoznaczne ze obecnością przetrwałego otworu owalnego. Chociaż PFO jest zdecydowanie najczęstszym miejscem RLS, do przecieku dojść może także przy współistnieniu innych wrodzonych wad rozwojowych serca, takich jak ubytek przegrody międzyprzedsionkowej czy ubytek przegrody międzykomorowej oraz w obrębie płuc, poprzez płucne przetoki tętniczo - żyłne. W celu jednoznacznego określenia miejsca przecieku, niezbędne może być pogłębienie diagnostyki o echokardiografię przezprzełykową oraz RTG klatki piersiowej.

Biorąc pod uwagę rozpowszechnienie PFO, należy podkreślić, że jego znaczenie kliniczne jest niewielkie - odpowiada on za część udarów niedokrwiennych mózgu, zwłaszcza u młodych ludzi poniżej 55 roku życia, oraz może stanowić czynnik ryzyka wystąpienia ciężkiej choroby dekompresyjnej z objawami neurologicznymi. Łącznie, o ile epizody wszystkich DCI występują w około 0,005 - 0,08% nurkowań, to przypadki choroby dekompresyjnej, które można powiązać z obecnością przetrwałego otworu owalnego to 0,002- 0,03 % ekspozycji [20,21]. Należy zwrócić uwagę, że ryzyko wystąpienia jakiegokolwiek 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 [22].

Niższy procent epizodów DCI u nurków wojskowych wynika najpewniej z ich dobrego stanu zdrowia, prowadzenia diagnostyki w kierunku schorzeń sercowo - naczyniowych (w tym PFO), dobrego wykształcenia oraz rzadkiego wykonywania przez nich nurkowań dekompresyjnych, co szczególnie dotyczy nurków bojowych. Trzeba także podkreślić, że ryzyko wystąpienia ciężkiej postaci choroby dekompresyjnej rośnie wraz ze stopniem stwierdzanego przecieku żylny - 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 [23]. Zgodnie z opublikowanymi wytycznymi i zaleceniami [24,25], poszukiwanie PFO nie jest konieczne u każdego nurka czy kandydata na nurka. Diagnostykę należy jednak przeprowadzić w przypadku nawracających epizodów choroby dekompresyjnej, wystąpienia neurologicznej lub skórnej postaci DCI 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 DCI, zwłaszcza z towarzyszącą migreną z aurą.

Rozważa się również poszukiwanie PFO w przypadku epizodów niedokrwienia OUN o niejasnej przyczynie oraz przy rodzinnym wywiadzie w kierunku obecności PFO i wad przegrody międzyprzedsionkowej u krewnych I stopnia. 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 DCI związanych z przeciekiem żylnym - tętniczym [24].

Obecnie obowiązujące w Polsce przepisy nie wymuszają rutynowych badań w kierunku PFO u nurków zawodowych (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych do wykonywania prac podwodnych) [26] i jego nowelizacja z 2011 roku [27]. Zalecają one jedynie, by w przypadku stwierdzenia odchyień w badaniu klinicznym i czynnościowym, zwłaszcza wskazujących na przeciek prawo-lewo, kierować nurka na badania specjalistyczne. W przypadku kandydatów na nurków wojskowych, w ramach badań zleczanych przez Wojskową Komisję Morsko - Lekarską, wykonywane jest standardowe ECHO przezskłatkowe, którego czułość i specyficzność w wykrywaniu PFO sięga 80-86%.

Ze względu na niskie ryzyko wystąpienia ciężkich postaci DCI, diagnostyka PFO nie wydaje się być konieczna u wszystkich nurków, zwłaszcza tych nurkujących rekreacyjnie. Wydaje się jednak za zasadne wypracowanie standardów badań przesiewowych na obecność przecieku żylnego - tętniczego (najczęściej towarzyszącego przetrwałemu otworowi owalnemu) u nurków zawodowych wykonujących prace podwodne oraz nurków wojskowych, co służyć będzie podniesieniu bezpieczeństwa nurkowania. By uniknąć drogich, nieprzyjemnych, dostępnych w ograniczonym stopniu oraz obciążonych ryzykiem wystąpienia potencjalnie niebezpiecznych powikłań badań przy pomocy echokardiografii przezprzełykowej, do diagnostyki przesiewowej wykorzystać można dopplerowskie badanie tętnic wewnątrzczaszkowych z kontrastem. Czułość i specyficzność c-TCD w wykrywaniu PFO porównywalna jest z ECHO przezprzełykowym, do innych zalet należy także niski koszt badań, niewielkie wymiary aparatów USG, niewielka inwazyjność oraz brak działań niepożądanych związanych z badaniem.

LITERATURA

- Hagen PT, Scholz DG, Edwards WD. 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; 59:17–20. DOI: 10.1016/S0025-6196(12)60336-X;
- Anderson RH, Webb S, Brown NA et al. Development of the heart: (2) Septation of the atriums and ventricles. *Heart* 2003; 89: 949–958, DOI 10.1136/heart.89.8.949;
- Halperin JL, Fuster V, Patent foramen ovale and recurrent stroke: another paradoxical twist. *Circulation* 2002; 105: 2580–2582. doi.org/10.1161/01.CIR.0000020353.63751.2F;
- Webster MW, Chancellor AM, Smith HJ et al. Patent foramen ovale in young stroke patients. *Lancet* 1988; 2: 11–12. DOI: 10.1016/S0140-6736(88)92944-3;
- Lamy C, Giannesini C, Zuber M et al. Clinical and imaging findings in cryptogenic stroke patients with and without patent foramen ovale: the PFOASA Study. *Atrial Septal Aneurysm. Stroke* 2002; 33: 706-711. DOI: 10.1161/hs0302.104543;
- Homma S, Messé SR, Rundek T, Sun YP, Franke J, Davidson K, et al. Patent Foramen Ovale, *Nat Rev Dis Primers*, 2016 Jan 21;2:15086. DOI: 10.1038/nrdp.2015.86;
- Wilmshurst PT, Ellis BG, Jenkins BS. Paradoxical gas embolism in scuba diver with an atrial septal defect. *Brit Med J* 1986;293:1277. DOI: 10.1136/bmj.293.6557.1277;
- Guenzani S, Merre D, Messersmith M, Olivari D, Arena M, Spano A, Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers. *Diving Hyperb Med.* 2016 Jun;46(2):111-6;
- Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE, Decompression Illness. *Lancet.* 2011. 2011 Jan 08;77(9760):153-64, DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61085-9;
- Schwerzmann M, Seiler C, Lipp E et al. Relation between directly detected patent foramen ovale and ischaemic brain lesions in sport divers. *Ann Intern Med* 2001; 134:21-4, DOI: 10.7326/0003-4819-134-1-20011020-00009;
- 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):133-139, DOI: 10.1016/j.rec.2010.10.014;
- Flaschkampf F, Decoodt P, Fraser A et al. Subgroup on Transesophageal Echocardiography and Valvular Heart Disease; Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology. Recommendations for performing transoesophageal echocardiography. *Eur. J. Echocardiogr.* 2001; 2: 8-21;
- Flaschkampf F, Badano L, Daniel W et al. Recommendations for transoesophageal echocardiography — update 2010. *Eur. J. Echocardiogr.* 2010; 11: 557-576. DOI: 10.1093/ejechocard/jeq057;
- Palazzo P, Ingrand P, Agius P, Belhadj Chaidi R, Neu JP, Transcranial Doppler to detect right-to-left shunt in cryptogenic acute ischaemic stroke. *Brain and Behavior.* 2019;9:e01091. DOI.org/10.1002/brb3.1091;
- Szyszk A, Płońska-Gościński E, Kasprzak JD, Gąsior Z, Tomasz Kukulski T, Gackowski A, et al., Rekomendacje 2011 Sekcji Echokardiografii Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczące zastosowania echokardiografii przezprzełykowej w praktyce klinicznej, *Kardiologia Polska* 2011; 69, 7: 755–760., Polish [Recommendations of the Echocardiography Working Group of the Polish Cardiac Society for transesophageal echocardiography use in clinical practice 2011];
- Mojadidi MK, Roberts SC, Winoker JS, Romero J, Goodman-Meza D, Gevorgyan R, et al. Accuracy of Transcranial Doppler for the Diagnosis of Intracardiac Right-to-Left Shunt: A Bivariate Meta-Analysis of Prospective Studies, *JACC: Cardiovascular Imaging.*, Volume 7, Issue 3, March 2014, Pages 236-250, DOI.org/10.1016/j.jcmg.2013.12.011;
- Alexandrov A, Joseph M, Transcranial Doppler: An Overview of its Clinical Applications. *The Internet Journal of Neurosurgery.* 2000 Volume 1 Number 1, <http://ispub.com/IJNS/1/1/12180>;
- Jauss M, Zanette E (2000). Detection of right- to- left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography. *Cerebrovasc Dis* 2000;10:490–496, DOI. org/10.1159/000016119;
- Kozera G, Nyka WM, Próba TCD na PFO — znaczenie kliniczne i ograniczenia, *Polski Przegląd Neurologiczny*, 2008, tom 4, supl. A. Polish [PFO detection with use of transcranial Doppler. — clinical value and limitations];
- Bove AA, Moon RE, Patent Foramen Ovale - Is It Important to Divers? https://www.diversalernetnetwork.org/medical/articles/Patent_Foramen_Ovale_Is_It_Important_to_Divers;
- Bove AA. Risk of decompression sickness with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med* 1998;25:175–8;
- Garmonpre P. The medical risk of underwater diving and their control. *Internat Sport Med Journal* 2006:1-15, <https://hdl.handle.net/10520/EJC48585>;
- Torti S.R., Billinger M., Schwerzmann M., Vogel R., Zbinden R., Windecker S., Seiler C., 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, Pages 1014–1020, DOI: 10.1016/j.ehj.2004.04.028;
- Sykes O, Clark JE. 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. DOI:10.1186/2046-7648-2-10;



25. Smart D, Mitchell S, Wilmshurst P, Turner M, Banham N. 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;
26. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych, Dz.U. 2007 nr 199 poz. 1440,
27. 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.

lek. med. Krzysztof Dziewiatowski

kdziewiatowski@poczta.onet.pl

Oddział Udarowy

7 Szpital Marynarki Wojennej

ul. Polanki 117

80-305 Gdańsk

ORCID identifier No: 0000-0003-2557-3561