

## Ryszard Kłos

kmdr rez. dr hab. inż. Ryszard Kłos, prof. nadzw. AMW  
Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
81 – 103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69  
tel.: +58 626 27 46, fax.: +58 626 27 61  
<http://www.amw.gdynia.pl>

### DETEKCJA ŚRÓDNACZYNIOWEJ WOLNEJ FAZY GAZOWEJ

*Dopplerowskie ultradźwiękowe wykrywanie śródnaczyiniowej wolnej fazy gazowej stanowi typową, użyteczną procedurę stosowaną przy badaniach nad dekompresją. W artykule przedstawiono ocenę statystyczną metody dla przyjętej standardowej procedury detekcyjnej.*

**Słowa kluczowe:** dekompresja, bezpieczeństwo dekompresji

### INTRAVASCULAR BUBBLE DETECTION

*Doppler ultrasonic detection of intravascular bubbles is an applied, routine procedure useful into decompression research. It was presented statistical assessments of recommended standard procedures to be followed in using the Doppler technique.*

**Key Words:** decompression, decompression safety

### WSTĘP

Pomimo zgłaszanych zastrzeżeń, metoda dopplerowskiej detekcji śródnaczyiniowej wolnej fazy gazowej jest metodą użyteczną i przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa nurkowania<sup>1</sup>. Jej podstawową zaletą jest możliwość wykorzystania w czasie rzeczywistym.

Dopplerowskie ultradźwiękowe wykrywanie śródnaczyiniowej wolnej fazy gazowej jest standardową procedurą wykorzystywaną przez kilka laboratoriów zajmujących się badaniami nad dekompresją. Najczęściej podczas eksperymentalnego badania profili dekompresji stosowane są proste metody polegające na wykrywaniu wolnej fazy gazowej za pomocą odsłuchiwania ultradźwiękowych sygnałów dopplerowskich specjalnie przetworzonych<sup>2</sup> na słyszalny sygnał dźwiękowy. Opisana tutaj analiza odnosi się do metody i urządzeń stosowanych przez *DR-DC Toronto*<sup>3</sup> [2,7]. Podobne procedury wykorzystuje się w *Centre d'Etudes et de Recherches Techniques Sous-Marines, U.S. Navy Experimental Diving Unit, U.S. Naval Subma-*

---

<sup>1</sup>zwłaszcza podczas nurkowań eksperymentalnych

<sup>2</sup>przez układy elektroniczne

<sup>3</sup>dawniej *Defence and Civil Institut of Environmental Medicine*

*rine Medical Research Laboratory i U.S. Naval Medical Research Institute.*

Podczas gdy sama technika pomiarowa jest prosta i niekosztowna, to jej zastosowanie wymaga umiejętności i doświadczenia. Wyniki badań mogą być łatwo zrozumiałe przez innych pod warunkiem zastosowania standardowych procedur postępowania<sup>4</sup>. Wykorzystywany tutaj kod *K – M* do klasyfikacji sygnałów jest porównywalny z klasyfikacją przedstawioną przez *Spencera*, lecz uwzględnia on więcej czynników i umożliwia bardziej szczegółowy opis sygnałów [2,7]. Kody te są podobne do siebie, jednak wyniki opisane którąkolwiek z tych metod mogą być porównywane tylko w pewnym zakresie.

Przeciwnicy tej metody słusznie zaznaczają, że objawom choroby dekompresyjnej<sup>5</sup> niekoniecznie musi towarzyszyć powstanie wolnej fazy gazowej. W artykule pokazano na podstawie wnioskowania statystycznego, że są to przypadki na tyle rzadkie, aby uznać technikę pomiaru śródnaczyniowej wolnej fazy gazowej, jako porównywalną z innymi metodami diagnostyki medycznej przy szacowaniu narażenia na stres dekompresyjny.

## METODA

### Wstęp

Z praktycznego punktu widzenia, uwzględnianie całej dotychczasowej wiedzy dotyczącej rozwiązania jakiegokolwiek sytuacji problemowej jest postępowaniem racjonalnym. Szczególnie, gdy konsekwencje podejmowanych decyzji mają znaczenie dla bezpieczeństwa ludzi, konstrukcji technicznych czy decyzji finansowych. Wielokrotnie decyzje takie podejmowane są intuicyjnie na bazie wrywkowej wiedzy, doświadczenia inżynierskiego, medycznego czy menedżerskiego. W procesie podejmowania decyzji powinno się jednak wykorzystywać różne dziedziny wiedzy ze szczególnym uwzględnieniem nowych trendów i odkryć, co może zapewnić przewagę technologiczną, ekonomiczną czy naukową. Konieczne w takich przypadkach szacunki lub dane archiwalne mogą być niedokładne, mało wiarygodne lub całkowicie nieprawdziwe, dlatego wielu sprzeciwia się stosowaniu takich strategii z obawy przed pomyłką czy ze względu na ugruntowane zamiłowanie do przejrzystych wnioskowań. Jednak praktyka wymaga podejmowania szybkich decyzji w warunkach niepewności. Znaczny postęp krajów wysoko uprzemysłowionych, permanentnie uciekających przed goniącą ich resztą świata, wspomagany jest naukowymi metodami podejmowania decyzji, kontroli jakości tych decyzji, permanentnej eksploracji danych itp. Istnieją różne podejścia analityczne<sup>6</sup>: klasyczne, zgłębiania danych, bayerowskie itp. – **tab.1**.

Na podejście klasyczne składa się: postanowienie problemu, zbieranie danych, ich analiza wraz z wyciągnięciem wniosków polegających na określeniu nieznanymi parametrów modelu na podstawie dopasowania go do uzyskanych danych. Bazując na jednym z paradygmatów fizyki, mówiącym o nieodłącznym występowaniu zachowania stochastycznego w układach deterministycznych, stosuje się wzbogacenie powyższej metodyki o wnioskowanie statystyczne. Daje to możliwość wnioskowania o niepewności wyznaczenia zmiennych i parametrów modelu na podstawie oszacowanych niepewności wyników pomiarów<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup>sposób postępowania oparty jest o wcześniejsze badania *K.E.Kismana* i *G. Masurela*; dalsze doświadczenia z techniką dopplerowską doprowadziły do udoskonalenia tej metody

<sup>5</sup>*DCS*

<sup>6</sup>analiza – myślowe, pojęciowe wyodrębnienie i badanie cech elementów, struktury lub procesów zachodzących w systemach lub zachodzących w nich procesach

<sup>7</sup>i na tej podstawie określenie adekwatności przyjętego modelu

Tabela 1

Podejścia stosowane w technice zgłębiania danych

Podejście	Wyszczególnienie
klasyczne	problem→zbieranie danych→wybór modelu→analiza→wnioski
zgłębianie danych	problem→zbieranie danych→analiza→wybór modelu→wnioski
bayesowskie	problem→zbieranie danych→wybór modelu→wybór rozkładu→analiza→wnioski

W podejściu *bayesowskim*<sup>8</sup> przed zebraniem danych eksperymentalnych analizowane są dane historyczne służące do określenia ich rozkładów *a priori*<sup>9</sup> i na ich podstawie wyrażenie wstępnego założenia prawdopodobnego zakresu zmienności nieznanymi parametrów modelu. Pozyskiwane dane na drodze planowanego eksperymentu służą do rewizji tych założeń, czyli określenia zakresu zmienności niezależnych parametrów modelu na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa *a posteriori*<sup>10</sup>. Przedziały ufności estymowanych parametrów wyznacza się ze zweryfikowanych rozkładów *a posteriori*<sup>11</sup>. *Wzór Bayesa*<sup>12</sup> określa związek pomiędzy prawdopodobieństwem warunkowym  $P(A|B)$  a prawdopodobieństwem odwrotności  $P(B|A)$  rozpatrywanego zdarzenia:

$$P(A|B) = \frac{P(A)}{P(B)} \cdot P(B|A) \tag{1}$$

gdzie:  $P(A)$  –prawdopodobieństwo *a priori*<sup>13</sup> zdarzenia  $A$ ,  $P(B)$  –prawdopodobieństwo zdarzenia  $B$ , nazywane także czynnikiem normalizującym w sensie statystycznym<sup>14</sup>,  $P(A|B)$  –prawdopodobieństwo warunkowe *a posteriori* zdarzenia  $A$  pod warunkiem zajścia zdarzenia  $B$ ,  $P(B|A)$  –prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia zdarzenia  $B$  pod warunkiem zajścia zdarzenia  $A$ , zwane także wiarygodnością, gdyż od dokładności jego eksperymentalnego oszacowania zależy w znacznej mierze, jakość wnioskowania

W piśmiennictwie można spotkać różne wersje *twierdzenia Bayesa*, lecz często podawana jest wersja opisująca wzajemnie wykluczające się parami zdarzenia  $A_i$ :

$$\forall_{k=1,2..N} P(A_k|B) = \frac{P(A_k) P(B|A_k)}{\sum_{i=1}^N P(A_i) P(B|A_i)} \quad \left| \quad \forall_{i \neq j} A_i \cap A_j = \emptyset \wedge A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_N = \Omega \tag{2}$$

Z warunków dla zależności (2) wynika, że  $P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_N) = 1$ , co oznacza, że prawdopodobieństwa  $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_n)$  tworzą rozkład – tzw. *rozkład a priori*. Można łatwo zauważyć, że  $P(A_1|B) + P(A_2|B) + \dots + P(A_n|B) = 1$ , zatem prawdopodobieństwa warunkowe  $P(A_1|B), P(A_2|B), \dots, P(A_n|B)$  tworzą rów-

<sup>8</sup>Bayes Thomas, 1702–61, angielski matematyk i teolog; podał wzór na ocenę prawdopodobieństwa a posteriori

<sup>9</sup>prior z łaciny znaczy wcześniejszy, pierwszy

<sup>10</sup>posterior z łaciny znaczy tylni, końcowy

<sup>11</sup>w tym podejściu nieznanne parametry modelu są zmiennymi losowymi nie zaś wartościami stałymi

<sup>12</sup>choć jest podstawowym twierdzeniem teorii prawdopodobieństwa, był przez stulecia zapomnianym sposobem podejścia – w obecnym czasie teoria ta zyskuje na znaczeniu; *wzór Bayesa* określa prawdopodobieństwo *a posteriori* wzajemnie wykluczających się zdarzeń losowych  $A_1, A_2..A_n$  (hipotezy  $A_i$ ), gdy zaobserwowano zdarzenie  $B$ , a prawdopodobieństwo *a priori* zdarzenia  $A_i$  jest równe  $P(A_i)$

<sup>13</sup>nazywane *a priori* ze względu na fakt braku potrzeby posiadania jakichkolwiek informacji na temat zdarzenia  $B$

<sup>14</sup>czynnik powodujący normalizowanie całki funkcji rozkładu zmiennej losowej do jeności

niez rozkład nazywany *rozkładem a posteriori* zdarzeń  $A_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  pod warunkiem, że zaszło zdarzenie  $B$ . Wynika stąd, że zależność (1) jest szczególnym przypadkiem równania (2), gdzie  $A_i \equiv A$ <sup>15</sup>.

Wzór (2) jest użyteczny przy szacowaniu niektórych trudnych do określenia prawdopodobieństw warunkowych o ile bez zastrzeżeń zostaną zaaprobowane przez badacza oszacowania prawdopodobieństw na podstawie częstości zdarzeń lub innych, także subiektywnych<sup>16</sup>, przesłanek.

#### Możliwości metody

Prawdopodobieństwo występowania objawów *DCS* pomimo braku wolnej fazy gazowej w naczyniach żylnych było gorąco dyskutowane przez fizjologów i praktyków. Istnieją możliwości formowania się wolnej fazy gazowej poza naczyniami przy jednoczesnym ich braku lub występowania w niewielkiej ilości w żyłach, zwłaszcza przy objawach neurologicznych<sup>17</sup> *DCS*.

Z obserwacji poczynionych w ośrodku referencyjnym *DR-DC Toronto* oraz doświadczeń *Akademii Marynarki Wojennej* wynika, że istnieje także znaczne niebezpieczeństwo pomylenia sygnału ciągłego z sygnałem braku wolnej fazy gazowej.

Korelacja pomiędzy sygnałem a wystąpieniem objawów nie jest dotąd jednoznacznie określona [3–5,9].

Pomimo tych rzeczywistych problemów związanych z wykorzystaniem metody detekcji śródnacyniowej wolnej fazy gazowej do określenia zagrożeniem *DCS* zostanie wykazane, że w praktyce jest to metoda użyteczna.

Z punktu widzenia zastosowania metody detekcji wolnej fazy gazowej w naczyniach żylnych interesującym jest oszacowanie, jakie jest prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na wystąpieniu ewidentnych objawów *DCS* pomimo niewykrycia  $\neg G$  śródnacyniowej wolnej fazy gazowej:  $P(DCS|\neg G)$ . Dla przedstawionej sytuacji problemowej, jako zdarzenie  $A: \{DCS\}$  przyjęto ewidentnie wystąpienie objawów *DCS* u nurka po zakończonej dekompresji. Jako zdarzenie  $B: \{\neg G\}$  przyjęto brak stwierdzenia przy pomocy detektora śródnacyniowej wolnej fazy gazowej sygnału, który sugerowałby możliwość wystąpienia objawów *DCS*. Stosując podejście baysowskie można zapisać ten problem analogicznie do zależności (2):  $P(DCS|\neg G) =$

$$= \frac{P(\neg G|DCS)P(DCS)}{P(\neg G|DCS)P(DCS) + P(\neg G|\neg DCS)P(\neg DCS)}$$

Oszacowania potrzebnych do wnioskowania prawdopodobieństw można oprzeć o dane zaczerpnięte z badań *DR-DC Toronto* – **tab.2**. W celu ułatwienia ich analizy można wykorzystać *diagram Veena*, podający licznosci dla wytypowanych zdarzeń [1] – **tab.3**. Prawdopodobieństwo wystąpienia objawów *DCS* można dla tego przypadku oszacować z podanych w **tab.2** i **tab.3** obserwowanych częstości:  $P(DCS) \triangleq \frac{n(DCS)}{N} = \frac{41}{1726} \cong 0,024$ . Oszacowanie potrzebnych prawdopodobieństw warunkowych wymaga rozgraniczenia pomiędzy sygnałami, na: sugerujące przesłanki do wystąpienia objawów *DCS* i sugerujące brak takich przesłanek. Jako graniczny

<sup>15</sup>w zagadnieniach bayesowskiej estymacji parametrycznej często korzysta się z wersji twierdzenia Bayesa dla rozkładów ciągłych, przykładowo:  $g(\lambda|x) = \frac{f(x|\lambda)g(\lambda)}{\int_0^{\infty} f(x|\lambda)g(\lambda)d\lambda}$ , gdzie:  $f(x|\lambda)$  – funkcja gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $X$  przy nieznanym parametrze/parametrach  $\lambda$ ,  $g(\lambda)$  – dystrybuanta *a priori* parametru  $\lambda$  dla obserwacji  $X \leftarrow x$ ,  $g(\lambda|x)$  – dystrybuanta *a posteriori* parametru  $\lambda$  dla obserwacji  $X \leftarrow x$

<sup>16</sup>przykładowo poprzez oszacowania ich przez ekspertów

<sup>17</sup>II i III typ *DCS*

Tabela 2  
Wyniki pomiarów obecności wolnej fazy gazowej w naczyniach żylnych dla 1726 ekspozycji powietrznych i nitroksowych oraz 1508 ekspozycji heliokso-  
wanych wykonanych w DR-DC Toronto [1,6]

Miejsce pomiaru	Kod KM	Dekompresje powietrzne i Nitroksowe			Dekompresje Helioks		
		liczba ekspozycji	DCS	%DCS	liczba ekspozycji	DCS	%DCS
Okolice serca (brak ruchu)	0	1264	7	0,6%	945	6	0,6%
	I	131	0	0,0%	105	2	1,9%
	II	137	8	5,8%	184	1	0,5%
	III	191	25	13,1%	272	22	8,1%
	IV	3	1	33,3%	2	1	50,0%
Okolice serca (ruch)	0	1164	3	0,3%	879	7	0,8%
	I	109	2	1,8%	70	0	0,0%
	II	111	3	2,7%	114	1	0,9%
	III	305	26	8,5%	313	11	3,5%
	IV	37	5	13,5%	132	13	9,8%
Ogólnie <sup>†</sup>	0	819	0	0,0%	623	1	0,2%
	I	287	3	1,0%	214	1	0,5%
	II	183	2	1,1%	187	0	0,0%
	III	365	27	7,4%	347	15	4,3%
	IV	72	9	12,5%	137	15	10,9%

<sup>†</sup>Ogólnie to najwyższy sygnał, który został zaobserwowany w strefie przedsercowej lub żył podobojczykowej

bezpieczny gradient przyjęto tutaj wartość  $G < II + ^{18}$ . Oszacowanie wartości prawdopodobieństwa zdarzenia polegającego na braku interpretacji sygnału<sup>19</sup> jako niebezpieczny przy późniejszym wystąpieniu DCS dla dekompresji powietrznych i nitroksowych, wynosi:  $P(\neg G|DCS) \triangleq \frac{n(\neg G \cap DCS)}{n(DCS)} = \frac{5}{41} \cong 0,12$  – **tab.3**. Dla nurkowań heliokso-  
wanych wartość ta to  $P(G|DCS) \cong 0,06$  – **tab.2**. Obie wartości oszacowano przy bardzo zbliżonym zagrożeniu DCS, dlatego usprawiedliwione jest obliczenie z nich wartości średniej dla tego prawdopodobieństwa:  $P(\neg G|DCS) \cong 0,09$ .

Tabela 3

Łączny rozkład częstości występowania DCS i braku objawów  $\neg DCS$  dla dekompresji powietrznych i nitroksowych oraz pomiarów występowania G i braku  $\neg G$  wolnej fazy gazowej w strefie przedsercowej lub w żyłach podobojczykowych wybierając większy z sygnałów

	G	$\neg G$	SUMA
DCS	36	5	41
$\neg DCS$	401	1284	1685
SUMA	437	1289	1726

<sup>18</sup>z doświadczenia wynika, że dla nurków starszych przyjęty tutaj poziom bezpieczeństwa  $G < II +$  może być tolerowany bezobjawowo, zaś dla nurków do 30 roku życia jest on realnym zagrożeniem

<sup>19</sup> pomiary występowania wolnej fazy gazowej w strefie przedsercowej i w żyłach podobojczykowych oraz wybranie większego z sygnałów

Na tych samych przesłankach można oprzeć szacowanie prawdopodobieństwa, dla sytuacji braku fałszywego sygnału zinterpretowanego, jako niebezpieczny gradient wolnej fazy gazowej dla bezpiecznej procedury dekompresyjnej  $P(\neg G|\neg DCS)$ . W *Akademii Marynarki Wojennej* zachęca się nurków do zgłaszania wszelkich dolegliwości, nawet na pierwszy rzut oka niezwiązanych z ekspozycjami hiperbarycznymi. Przypadki te oraz wątpliwe przypadki *DCS* są zawsze diagnozowane na obecność wolnej fazy gazowej w naczyniach żylnych. Nie zdarzyło się jeszcze, aby brak podjęcia leczenia na podstawie wyniku badania dopplerowskiego zaowocował wystąpieniem objawów *DCS*.

Podczas pomiarów występowania śródnacyniowej wolnej fazy gazowej w strefie przedsercowej i w żyłach podobojczykowych<sup>20</sup> dla dekompresji powietrznych i nitroksowych prawdopodobieństwo braku sygnału, gdy nie wystąpiło zagrożenie *DCS* oszacowano na poziomie  $P(\neg G|\neg DCS) \triangleq \frac{1284}{1685} \cong 0,76$  – **tab.3**. Dla nurkowań heliokso-owych oszacowana na podstawie częstości zawartych w **tab.3** wartość tego prawdopodobieństwa wyniosła  $P(\neg G|\neg DCS) \triangleq \frac{1022}{1476} \cong 0,69$ . Obie wartości oszacowano przy bardzo zbliżonym zagrożeniu *DCS*, dlatego usprawiedliwione jest obliczenie z nich wartości średniej:  $P(\neg G|\neg DCS) \cong 0,72$ <sup>21</sup>.

Stosując podobne rozumowanie można bezpośrednio z danych zawartych w **tab.3** wyznaczyć poszukiwane zagrożenie brakiem zdiagnozowania poprzez niewykrycie śródnacyniowej wolnej fazy gazowej<sup>22</sup> przy rzeczywistym wystąpieniu *DCS* dla dekompresji powietrznych i nitroksowych na poziomie  $P(DCS|\neg G) \triangleq \frac{5}{1289} \cong 0,004$ . Dla nurkowań heliokso-owych oszacowana na podstawie danych zawartych w **tab.2** wartość tego prawdopodobieństwa wyniosła  $P(DCS|\neg G) \triangleq \frac{5}{1289} \cong 0,002$ . Stąd na podstawie tych samych przesłanek średnią wartość pomyłki metody oszacowano na poziomie:  $P(DCS|\neg G) \triangleq \frac{5}{1289} \cong 0,003$ .

Dokonując sprawdzenia oszacowania prawdopodobieństwa  $P(DCS|\neg G)$  można obliczyć jego wartość z poprzednio oszacowanych prawdopodobieństw na podstawie częstości zawartych w **tab.2**, według wzoru:  $P(DCS|\neg G) = \frac{P(DCS)}{P(\neg G|DCS) \cdot P(DCS) + P(\neg G|\neg DCS) \cdot [1 - P(DCS)]} \cdot P(\neg G|DCS)$ . Stąd:  $P(DCS|\neg G) \cong \frac{0,024}{0,09 \cdot 0,024 + 0,72 \cdot 0,976} \cdot 0,09 \cong 0,004$ , czyli wyniki są zgodne.

## DYSKUSJA

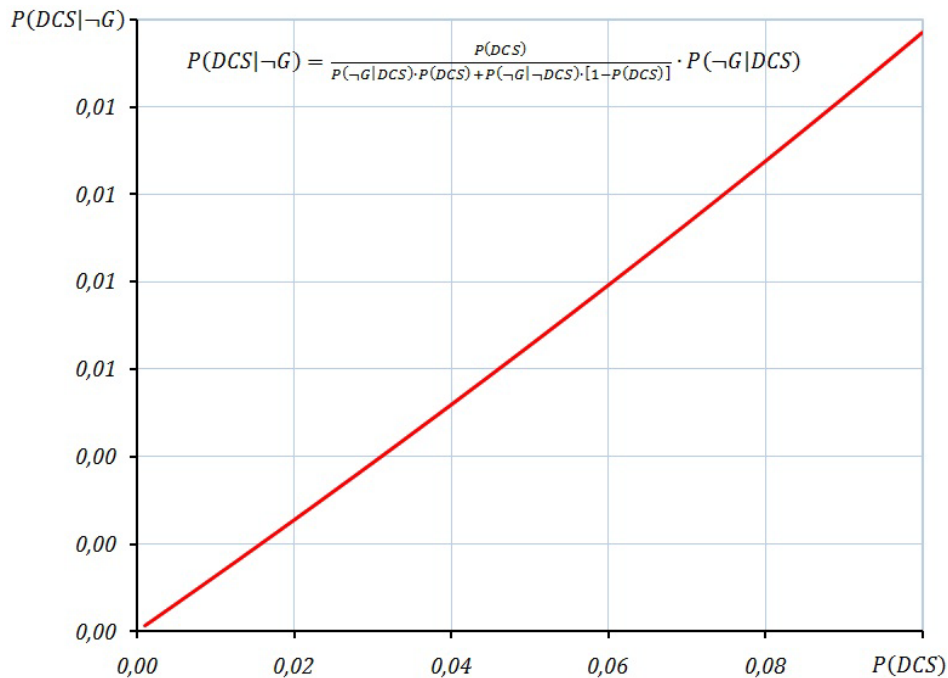
### *Detekcja wolnej fazy gazowej vs bezpieczeństwo dekompresji*

Podczas badań prowadzonych w *Akademii Marynarki Wojennej* przyjmuje się, zgodnie z tendencjami światowymi, że należy dążyć do opracowywania takich systemów dekompresji, dla których zagrożenie *DCS* będzie mniejsze od 1% [6]. W większości przypadków jest to deklaracja, której nie udaje się walidować ze względów czasowych czy finansowych. Łatwiej udaje się stwierdzić, że zagrożenie *DCS* leży poniżej lub powyżej 10%. Stąd do oceny nurkowań eksperymentalnych przyjęcie takiego założenia do wnioskowania wydaje się uzasadnione:  $P(DCS) = 0,1$  – dla zdania odwrotnego  $P(\neg DCS) = 1 - P(DCS) = 0,9$ . Wykorzystując to założenie można obliczyć prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że pomimo niewykrycia przekroczenia granicznego sygnału pochodzącego od śródnacyniowej wolnej

<sup>20</sup>wybierając większy z sygnałów

<sup>21</sup>przyjęcie takiej wartości wydaje się w pełni uzasadnione także przy szacunkach dokonywanych przez ekspertów na podstawie ich osobistego przekonania

<sup>22</sup>pomiary występowania wolnej fazy gazowej w strefie przedsercowej lub w żyłach podobojczykowych wybierając większy z sygnałów



Rys.2. prawdopodobieństwo zdarzenia, że pomimo tego, że taka wolna faza gazowa nie została wykryta w naczyniach żylnych podczas ruchu lub w spoczynku to nurek będzie miał objawy DCS

fazy gazowej podczas ruchu lub w spoczynku nurek będzie miał objawy DCS:  $P(DCS|\neg G) \triangleq \frac{0,1}{0,09 \cdot 0,1 + 0,72 \cdot 0,9} \cdot 0,09 \cong 0,014 < 1,5\%$  – **rys.2**. Wynik ten sugeruje wysoką wiarygodność diagnostyczną metod dopplerowskich wykorzystujących możliwość wykrycia obecności wolnej fazy gazowej w naczyniach żylnych do oceny zagrożenia DCS przy nurkowaniach eksperymentalnych.

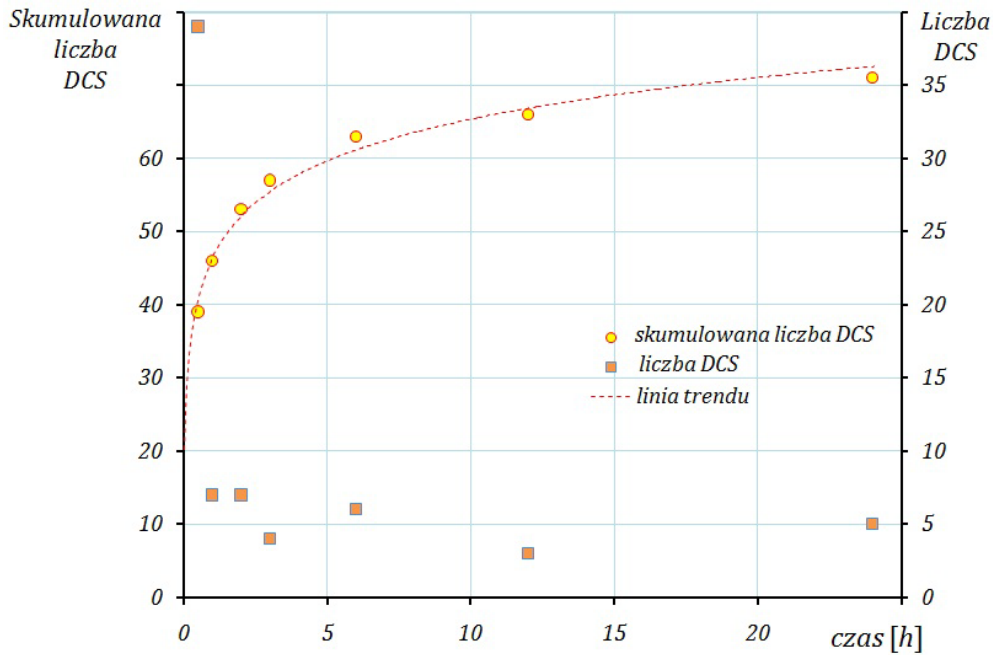
Z **rys.3** i **tab.4**<sup>23</sup> widać, że dla metody detekcji śródnacyniowej wolnej fazy gazowej istnieje dodatkowy zysk związany z opóźnieniem wystąpienia objawów DCS od momentu osiągnięcia powierzchni<sup>24</sup>. Wyniki te są całkowicie zgodne z dotychczasowymi obserwacjami poczynionymi w *Akademii Marynarki Wojennej*.

Tabela 4  
Czas wystąpienia objawów DCS od czasu osiągnięcia powierzchni dla 1726 ekspozycji powietrznych i Nitroksowych oraz 1508 ekspozycji Helioksowych [8]

Czynnik oddechowy	Typ DCS	Czas [min]							Suma
		0-30	30-60	60-120	120-180	180-360	360-720	360-1440	
powietrze i nitroks	I	18	4	4	1	3	0	2	32
	II	3	0	1	1	0	1	1	7
helioks	I	18	3	2	2	3	2	2	32

<sup>23</sup> pomimo tego, że dane zawarte w **tab.2** i **tab.4** są ze sobą powiązane, to w **tab.3** brakuje dwóch przypadków, dla których nie można było stwierdzić, po jakim czasie od osiągnięcia powierzchni wystąpiły objawy DCS

<sup>24</sup> i wykonania pomiaru występowania śródnacyniowej wolnej fazy gazowej



Rys.3. Czas od osiągnięcia powierzchni do wystąpienia pierwszych objawów DCS [8]

## WNIOSKI

Przedstawioną analizę oparto na danych z badań *DR-DC Toronto*, gdyż w kraju byłoby trudno uzyskać zgodę *Komisji Etyki Badań Naukowych* na ich przeprowadzenie<sup>25</sup>.

Metoda detekcji dopplerowskiej śródnaczyniowej wolnej fazy gazowej zgodnie z przyjętą procedurą<sup>26</sup> oraz przyjętej dopuszczalnej wartości granicznej sygnału na poziomie  $G \geq II +$  jest od lat stosowana w *Akademii Marynarki Wojennej* z dobrym rezultatem. Oszacowane zagrożenie niewykryciem stwarzającej zagrożenie DCS śródnaczyniowej wolnej fazy gazowej w funkcji prawdopodobieństwa wystąpienia DCS przedstawiono na **rys.2**. Maksymalna, oszacowana wartość tego zagrożenia wynosi  $P(DCS|\neg G) \triangleq 1,5\%$ <sup>27</sup>, co stanowi potwierdzenie wiarygodności tej metody. Z doświadczenia wiadomo, że różnice interpretacyjne pomiędzy technikami dopplerowskimi istnieją, lecz są one nieznaczne i zostały uwzględnione w przeprowadzonej analizie.

Oprócz wysokiego prawdopodobieństwa wykrycia i hierarchizacji pod względem stwarzanego zagrożenia możliwością wystąpienia DCS, metoda detekcji dopplerowskiej śródnaczyniowej wolnej fazy gazowej daje możliwość diagnozowania tego zagrożenia z istotnym wyprzedzeniem [8] – **tab.4** i **rys.3**.

## INFORMACJE DODATKOWE

Artykuł jest efektem prowadzonej pracy rozwojowej realizowanej w Akademii Marynarki Wojennej pt.: „Projektowanie dekompresji w misjach bojowych”<sup>28</sup>.

<sup>25</sup> podjęcie ryzyka byłyby one nieuzasadnione z etycznego punktu widzenia

<sup>26</sup> opisano tutaj metodę i urządzenie stosowane w *DCIEM* [2,7]

<sup>27</sup> dla nurków o zagrożeniu chorobą ciśnieniową  $\rho(DCS) \leq 10\%$

<sup>28</sup> nr umowy 0001/R/T00/2009/08



## PIŚMIENNICTWO

1. Crilly T. *50 teorii matematyki, które powinieneś znać*. Waeszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2008. ISBN 978-83-01-16102-6
2. DCIEM. 1986. *Procedures for Doppler ultrasonic monitoring of divers for intravascular bubbles*. Toronto : Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, 1986. 86-C-25
3. Eftedal O.S. *Ultrasonic detection of decompression induced vascular microbubbles*. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology Faculty of Medicine Department of Circulation and Medical Imaging, 2007. ISBN 978-82-471-3697-3
4. Eftedal OS, Lydersen S, Brubakk AO. The relationship between venous gas bubbles and adverse effects of decompression after air dives. 2007, Tom 34, 2, strony 99-105
5. Flook V. *Application of an advanced physiological model of decompression in the evaluation of decompression stress*. Aberdeen : Health and Safety Executive Offshore Technology, Norwich 1998. OTO 98090
6. Huggins K.E. *The dynamics of decompression workbook*. Ann Arbor : The University of Michigan, 1992
7. Nishi R.Y., Brubakk A.O., Eftedal O.S. 2003. Bubble detection w: Fifth edition. [aut. książki] Neumann T.S Brubakk A.O. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5th. Edinburgh : Saunders, 2003, 10.3
8. Sawatzky K.D. *The relationship between intravascular Doppler-detected gas bubbles and decompression sickness after bounce diving in humans*. Toronto : York University , 1991
9. Seddon F.M., Thacker J.C., Gilbert M.J., Anthony T.G.: *Doppler monitoring of compressed air workers; Belfast sewer Project*. Health and Safety Executive Offshore Technology, Norwich 2010. RR788 Research Report

### Autor:

#### **kmdr rez. dr hab. inż. Ryszard Kłós prof. nadzw. AMW**

Zajmuje się projektowaniem, budową i eksploatacją hiperbarycznych systemów zachowania życia oraz załogowymi technologiami prac podwodnych. Od 1988r. jest pracownikiem Zakładu Technologii Prac Podwodnych. W latach 2003–2010 pełnił obowiązki Kierownika Zakładu, a w okresie od 2008 do 2010 jednocześnie pełnił obowiązki prodziekana do spraw rozwoju na Wydziale Mechaniczno–Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Po odejściu z zawodowej służby wojskowej na emeryturę został zatrudniony na stanowisku cywilnego profesora nadzwyczajnego na Wydziale Mechaniczno–Elektrycznym Akademii Marynarki Wo-jennej.

## ZAŁĄCZNIK: DETEKcja ŚRÓDNACZYNIOWEJ WOLNEJ FAZY GAZOWEJ

### Wstęp

W standardowej praktyce stosuje się trzy miejsca, w których określa się wielkość występowania wolnej fazy gazowej, są to: okolica przedsercowa i obie żyły podobojczykowe.

Okolica przedsercowa<sup>29</sup> powinna być monitorowana z prawej strony serca, gdyż każdy pęcherzyk gazu, który trafia do układu żylnego powinien przejść przez ten obszar zanim zostanie wyeliminowany w płucach<sup>30</sup>. Wolna faza gazowa rzadko jest obserwowana po stronie tętniczej. Pęcherzyki gazu osiagają stronę tętniczą tylko wtedy, gdy w żyłach pęcherzyki wolnej fazy gazowej są tak liczne, że przekracza to możliwości filtrowania ich całej populacji przez płuca. Poprzez monitorowanie serca, możliwe jest w zasadzie oszacowanie całkowitej liczby pęcherzyków dostających się w danym czasie do krwi. W praktyce, nie wszystkie pęcherzyki gazu mogą być wykryte, ponieważ amplituda sygnału pochodzącego od mniejszych pęcherzyków może być mniejsza aniżeli amplituda podstawowego sygnału tła, pochodzącego z akcji serca i przepływu krwi<sup>31</sup>. Prawidłowe umieszczenie przetwornika ultradźwiękowego ponad sercem jest bardzo ważne z punktu widzenia wykrywania pęcherzyków. Zaleca się następujące postępowanie: niewielką ilość specjalnego żelu nanieść na sondę przetwornika i poruszając sondą dookoła okolicy sercowej odnaleźć charakterystyczne dźwięki związane z ruchem ścianek i zastawek serca oraz przepływem krwi.

Powtarzalny odgłos pracy zastawki przedsionkowo-komorowej może pomóc w zlokalizowaniu miejsca optymalnego umieszczenia sondy. Odgłos pracy zastawki ma tendencję do maskowania sygnałów pochodzących od pęcherzyków wolnej fazy gazowej, dlatego nie powinno się dopuścić do tego, aby dominował on w odsłuchiwanym sygnale.

U niektórych nurków<sup>32</sup> może być trudne uzyskanie dobrego sygnału około sercowego. W takim przypadku, nurek powinien pochylić się do przodu powodując przemieszczenie serca bliżej ściany klatki piersiowej. Spowoduje to wzrost siły sygnału. Zanim ustali się najlepsze miejsce odsłuchu sygnału, należy zawsze przeprowadzić poszukiwanie miejsca umieszczenia sondy przetwornika<sup>33</sup>.

Czasami trudno jest uzyskać dobry sygnał około sercowy<sup>34</sup>, możliwe jest niewykrycie pęcherzyka gazowego w tym miejscu. Dlatego zaleca się monitorowanie także innych miejsc. Żyły podobojczykowe są łatwe do monitorowania, a pęcherzyki gazowe łatwo tam wykryć. Z tego też powodu, w *DCIEM* i *CERTSM* rutynowe stało się badanie obecności pęcherzyków zarówno w żyłach podobojczykowych, jak i w sercu. Doświadczenia pokazują, że często możliwe jest wykrycie wolnej fazy gazowej w żyłach podobojczykowych, gdy nie jest możliwe ich wykrycie w sercu nawet, jeśli pęcherzyki powinny dotrzeć do serca krótko po przepłynięciu przez żyły. Monitorowanie tylko żył podobojczykowych nie jest wystarczające, gdyż pęcherzyki gazu dopływające z innych części ciała mogłyby być wtedy niewykryte.

Żyła podobojczykowa jest położona blisko tętnicy podobojczykowej i dzięki temu łatwo ją znaleźć poprzez poszukiwanie pulsującego dźwięku pochodzącego od tętnicy. Sonda powinna być tak umieszczona, aby uzyskać maksymalny sygnał żylny i minimalny sygnał z tętnicy. Monitorowaniu żył podobojczykowych towarzyszy charakterystyczny sygnał dopplerowski, podobny do łagodnie wiejącego wiatru. Ten

---

<sup>29</sup>precordium

<sup>30</sup>zw. filtr płucny

<sup>31</sup>dlatego, możliwe jest tylko zgrubne oszacowanie liczby występujących pęcherzyków wolnej fazy gazowej

<sup>32</sup>np. o potężnej budowie klatki piersiowej

<sup>33</sup>Najlepiej, jeśli nurek zna region, dla którego występują u niego najlepsze warunki pomiaru

<sup>34</sup>sygnał ten ma duży składnik tła

dźwięk staje się głośniejszy, gdy u badanego zwiększa się przepływ krwi przez żyłę, spowodowany zaciskaniem pięści po stronie monitorowanej.

Dopuszczalne i korzystne jest monitorowanie także w innych miejscach. Żyły udowe i żyły główne mogą być badane pod kątem występowania wolnej fazy gazowej tworzącej się w okolicy nóg. Żyły główne są trudno dostępne badaniu jest żyła główna dolna. Sonda musi być w tym przypadku wepchnięta głęboko w powłoki brzucha lekko po lewej stronie środkowej części brzucha. Ważne jest, aby nie mylić dźwięków pochodzących z jelit, z dźwiękami pochodzącymi od wolnej fazy gazowej w żyłę głównej. Sprawdzenie, czy pojawiają się pęcherzyki w głowie możliwe jest poprzez monitorowanie żył szyjnych. Jeśli występują bardzo liczne pęcherzyki w sercu, to warto zbadać tętnicę szyjną, aby sprawdzić, czy nie pojawiają się one po stronie tętniczej.

Monitorowanie powinno być przeprowadzone w wymienionych wcześniej miejscach, dla dwóch przypadków: na stojąco podczas spoczynku i po dobrze zdefiniowanym ruchu. Celem ruchu jest spowodowanie chwilowego wzrostu liczby pęcherzyków mijających przetwornik<sup>35</sup>. Jest to szczególnie użyteczne, gdy występuję ich mała liczba. Dla monitoringu umiejscowionego w okolicy przedsercowej tym ruchem jest głębokie zgięcie kolan<sup>36</sup>. Badany kuca łagodnym ruchem, a następnie natychmiast powstaje. W tym czasie badany musi trzymać sondę przetwornika w miejscu wybranym przez badającego tak, aby sonda nie przesuwiała się. Dla monitoringu umiejscowionego w okolicy podobojczykowej, tym ruchem jest chwilowe zaciskanie pięści po stronie monitorowanej, po czym następuje odpoczynek<sup>37</sup>. Jeśli badane są żyły udowe lub żyła główna dolna, badany jest proszony o podnoszenie najpierw jednej, a potem drugiej nogi lub wspięcie na palcach.

Ponieważ nurkowie są badani pod kątem występowania pęcherzyków tylko w określonych przedziałach czasu, badanie wykonywane przy pomocy ultradźwiękowej metody dopplerowskiej nie jest procesem ciągłym, ale raczej badaniem wyrwykowym. Czas przeznaczony na badanie zależy od fazy dekompresji. Okresy badań muszą być na tyle częste, aby pojawiająca się wolna faza gazowa mogła zostać natychmiast wykryta. Wskazano, aby przed każdym nurkowaniem uzyskać zapis odniesienia dla każdego nurka. Jeśli później obserwatorzy nie są pewni co do obecności wolnej fazy gazowej, mogą odsłuchać zapis sygnału odniesienia. Sporządzenie zapisu odniesienia pomaga obserwatorowi zapoznać się z charakterystycznymi dźwiękami serca każdego z nurków. Przy nurkowaniach płytkich, nurkowie powinni być monitorowani w przedziałach półgodzinnych, przez przynajmniej 2 h od zakończenia dekompresji lub tak długo, dopóki pojawiająca się wolna faza gazowa nie zniknie<sup>38</sup>. Jak pokazuje doświadczenie, powstawanie wolnej fazy gazowej następuje często dopiero po 1 – 3 h po zakończeniu dekompresji.

Wskazano, aby sygnały monitoringu były nagrywane, co bardzo ułatwia ocenę. Do nagrania zaleca się sporządzać kompletny komentarz. Na początku powinno się podać dane identyfikujące nurka, datę nurkowania, profil oraz rolę nurka. Przed każdym nagraniem powinno ponownie zostać zarejestrowane nazwisko nurka, czas od rozpoczęcia dekompresji, ciśnienie i głębokość. Równoległe z komentarzem powinno prowadzić się także pisemną dokumentację zapisu. Podczas zapisu dźwiękowego powinno się obserwować wskaźniki poziomu sygnału, aby upewnić się, że

---

<sup>35</sup> pomaga to obserwatorowi w ich identyfikacji

<sup>36</sup> badany proszony jest o wykonanie przysiadu

<sup>37</sup> rozluźnienie

<sup>38</sup> jeśli podczas dekompresji powierzchniowej występują przystanki dekompresyjne trwające dłużej niż 15 min, powinno się zacząć monitorowanie już w komorze podczas przystanków

Parametr częstotliwości kodu *K – M*

Kod	Częstotliwość
0	0
1	1–2
2	pojedyncze 3–8
3	falujące dudnienie 9–14
4	dźwięk ciągły

amplituda sygnału jest odpowiednia. W celu sprawdzenia, czy sygnał został zapisany prawidłowo należy odtworzyć jego odcinek. Jeśli jest to możliwe badający powinni pracować parami. Jeden umieszcza sondę i utrzymuje sygnał na odpowiednim poziomie a drugi dokonuje zapisu. Obaj powinni dokonywać oceny nurka i współpracować ze sobą. Najlepiej stosować następujące czasy zapisu:

- Okolica przedsercowa w spoczynku – 60 s
- Okolica przedsercowa po 3 przysiadach, 30 s po każdym
- Okolica podobojczykowa w spoczynku – 30 s
- Okolica podobojczykowa po 3 zaciśnięciach pięści – 15 s po każdym

Czasy te mogą wydawać się niekiedy zbyt długie, ale jak pokazuje doświadczenie, są one konieczne do prawidłowej oceny występowania wolnej fazy gazowej<sup>39</sup>.

Stosowane są trzy parametry do opisu sygnału pochodzącego od wolnej fazy gazowej. Każdy parametr jest oznaczony liczbą klasyfikacyjną od 0 do 4. Częstotliwość i amplituda są identyczne dla spoczynku i ruchu. Trzeci wyznacza się w inny sposób dla spoczynku i ruchu. Dla przypadku spoczynku, nazywany jest udziałem procentowym, podczas gdy dla ruchu nosi nazwę czasu trwania. Kombinacja tych trzech parametrów składa się na trójcyfrową klasyfikację według kodu *K – M*. Trzyfrowy zapis może być zredukowany do jednocyfrowego kodu.

#### *Częstotliwość dla przypadku ruchu i spoczynku*

Pierwszy parametr – częstotliwość – reprezentuje ilość pęcherzyków gazowych przypadających na jedno uderzenie serca. Sposób wyznaczania tego parametru podano w tab.Z.1. Dla kodu 4 pęcherzyki są tak liczne, że nie można ocenić ich liczby.

#### *Udział procentowy-przypadek spoczynku*

Udział procentowy reprezentuje stosunek procentowy występowania sygnałów pochodzących od wolnej fazy gazowej<sup>40</sup>. Sposób wyznaczania tego parametru przedstawiono w tab.Z.2.

Na przykład, jeżeli w 20 na 100 uderzeń serca usłyszy się 1 – 2 pęcherzyki<sup>41</sup>, to kod udziału procentowego wyniesie 2<sup>42</sup>. Jeżeli usłyszy się taki sam sygnał pochodzący od wolnej fazy gazowej w 40 uderzeniach na 100, a 20 następnych wystąpi 3–8 pęcherzy gazowych<sup>43</sup> to wtedy kod udziału procentowego wyniesie 3 dla kodu częstości 1<sup>44</sup>.

<sup>39</sup>dłuższe czasy obserwacji zapewniają dokładniejszy opis zjawisk

<sup>40</sup>np. na 10 uderzeń serca

<sup>41</sup>kod częstości 1

<sup>42</sup>10 – 50% uderzeniach serca usłyszano sygnał pochodzący od wolnej fazy gazowej

<sup>43</sup>kod częstości 2

<sup>44</sup>na ponad 50% uderzeń serca przypadają 1-2 pęcherzyków gazowych

Tabela Z.2

Parametr udziału procentowego kodu  $K - M$  dla spoczynku

Kod	Częstotliwość
0	0
1	1–10
2	10–50
3	50–99
4	100

Jednak dla kodu częstości 2 udział procentowy wyniesie  $2^{45}$ . Ten sam końcowy efekt można osiągnąć kilkoma sposobami, stąd pokazane dwa sposoby wyznaczenia gradacji wolnej fazy gazowej doprowadzą do tego samego rezultatu końcowego.

#### *Czas trwania-przypadek ruchu*

Ruch jest zdarzeniem przemijającym, podczas gdy odpoczynek jest przyjmowany jako zdarzenie quasi-stałe. Ze względu na tę różnicę, podczas ruchu drugim parametrem będzie czas trwania, a nie stosunek procentowy. Czas trwania jest liczone, jako liczba uderzeń serca przypadająca na czas trwania ruchu, w których występuje określona parametrem pierwszym częstość występowania pęcherzyków gazowych. Liczony cykl składa się z 10 uderzeń serca przy pomiarach w okolicy serca lub jako udział procentowy uderzeń serca przypadających na ruch przy pomiarach w innych miejscach – tab.Z.3. Przykładowo, jeżeli 6 – 10 pęcherzyków gazu zostało zaobserwowanych w każdym z pierwszych czterech uderzeniach serca przypadających po wykonaniu ruchu, wtedy kod czasu trwania wynosi  $2^{46}$  dla kodu częstości  $3^{47}$  pod warunkiem, że dalej częstość występowania pęcherzyków ulegnie zmniejszeniu. Jeżeli liczba pęcherzyków gazu przypadająca na następne 4 uderzenia serca spadnie do 3 – 5, to kod parametru trwania wyniesie 3 dla parametru częstości 2.

Zwykle te trzy parametry wyznaczane są w przedstawionej tutaj kolejności. Wynikowy kod  $K - M$  jest zapisany w postaci  $fpa$  dla spoczynku oraz  $fda$  dla przypadku ruchu. Trzy litery reprezentują cyfry odpowiadające częstotliwości, udziałowi procentowemu lub czasowi trwania i parametrowi amplitudy, np.112.

#### *Amplituda dla ruchu i spoczynku*

Amplituda sygnału wytwarzanego przez pęcherzyki gazowe  $Ab$  jest porównywana do amplitudy normalnego sygnału, pochodzącego od uderzeń serca  $Ac$ . Sposób określania parametru amplitudy podano w tab.Z.4.

Do określenia ogólnej gradacji pęcherzyków wolnej fazy gazowej stosowana jest notacja skrócona<sup>48</sup> – tab.Z.5. W tab.Z.5 pokazano sposób konwersji zapisu odpowiadającego kodowi  $K - M$  na zapis jednoparametryczny. Zapis taki jest wygodny, lecz zawsze powinno stosować się dodatkowo zapis w oryginalnym kodzie  $K - M$ , ponieważ zawiera on więcej informacji.

Oprócz zalecanej rejestracji sygnałów fonicznych, rejestrowane powinny być informacje o nurkowaniu, o nurku<sup>49</sup> oraz opisy dotyczące pojawienia się symptomów choroby dekompresyjnej.

<sup>45</sup>na 10 – 20% uderzeń serca przypadają 3 – 8 pęcherzyków gazowych

<sup>46</sup>czas trwania 3 – 4 uderzeń serca

<sup>47</sup>3 – 8 pęcherzyków gazowych

<sup>48</sup>np.112→1

<sup>49</sup>wzrost, masa ciała, wiek

Tabela Z.3

Parametr czasu trwania dla kodu  $K - M$

Kod	Częstotliwość
0	0
1	1-2
2	3-5
3	6-10
4	>10

Tabela Z.4

Parametr amplitudy dla kodu  $K - M$

Kod	Częstotliwość
0	nie dostrzeżono pęcherzyków
1	ledwo dostrzegalne $Ab < Ac$
2	amplituda umiarkowana $Ab < Ac$
3	głośno $Ab \approx Ac$
4	maksymalna $Ab > Ac$

Tabela Z.5

Konwersja kodu  $K - M$  na stopień gradacji pęcherzyków gazowych

konwersja kodu K-M na stopień gradacji pęcherzy							
fpa	g	fpa	g	fpa	g	fpa	g
111	I-	211	I-	311	I	411	II-
112	I	212	I	312	II-	412	II
113	I	213	I+	313	II	413	II+
114	I+	214	II+	314	II	414	III-
121	I+	221	II-	321	II	421	III-
122	II	222	II	322	II+	422	III
123	II	223	II+	323	III-	423	III
124	II	224	II+	324	III	424	III+
131	II	231	II	331	III-	431	III
132	II	232	III-	332	III	432	III+
133	III-	233	III	333	III	433	IV-
134	III-	234	III	334	III+	434	IV
141	II	241	III-	341	III	441	III+
142	III-	242	III	342	III+	442	IV
143	III	243	III	343	III+	443	IV
144	III	244	III+	344	IV-	444	IV

$f p(d) a$  – kod  $K - M$   
 $g$  – gradacja  
 $f$  – parametr częstotliwości  
 $p(d)$  – procentowy (lub czas trwania) parametr  
 $a$  – parametr amplitudy

Najtrudniejszym aspektem ultradźwiękowego wykrywania pęcherzyków jest rozpoznanie pęcherzyków w sercu, gdyż sygnały są maskowane przez sygnał pochodzący od ruchu elementów strukturalnych serca. Niestety, można to opanować tylko poprzez praktykę. Zaleca się, aby osoby uczące się techniki detekcji wolnej fazy gazowej były instruowane przez kogoś doświadczonego.

Sygnały pochodzące od pęcherzyków są z natury przejściowe i często pojawiają się nieregularnie podczas uderzeń serca. Jeśli mogą być wyróżnione indywidualnie, ich dźwięk brzmi podobnie do ćwierkania, gwizdania, trzasków, itd. Sygnały generowane przez zastawki są słyszalne mniej więcej w tym samym czasie, co następujące po sobie uderzenia serca i wytwarzają dźwięk podobny do uderzeń bicia. Przejście pęcherzyków gazowych wraz z przepływającą krwią przez jamy serca może być tak skorelowane z akcją serca, że czasami może być trudne odróżnienie pęcherzyków od sygnału zastawki. W takich sytuacjach przydatnym może okazać się ponownie odsłuchanie i porównanie zapisu dokonanego przed nurkowaniem. Ruch często pomaga zweryfikować obecność pęcherzyków. Wykrycie wolnej fazy gazowej w żyłach podobojczykowych powinno stanowić sygnał o prawdopodobieństwie występowania jej w sercu.

Sygnał dopplerowski może być czasami zaburzony przez ruch sondy lub przez ruch niżej leżących struktur anatomicznych (podczas oddychania albo podczas ruchu). Parametr czasu trwania dla przypadku ruchu został określony w cyklach serca, lecz podczas badania żył podobojczykowych może być trudno zliczyć cykle serca. Zamiast tego powinno się określać udział procentowy występowania sygnału od wolnej fazy gazowej w stosunku do czasu trwania ruchu, podobnie jak dla spoczynku.

Często możliwe jest przypisanie jednemu sygnałowi więcej niż jednej klasyfikacji. Aby zdecydować, którą klasyfikację zastosować, należy określić gradację pęcherzyków dla poszczególnych sygnałów i wybrać najwyższą wartość. Na przykład dla kodów 232 i 322 gradacja wynosi odpowiednio: *III* – oraz *II* +. Należy więc wybrać kod 232. Dla przypadku ruchu, każde zgięcie powinno zostać sklasyfikowane i spośród nich powinien być wybrany najbardziej reprezentatywny kod<sup>50</sup>. Jeśli przypisano kody 222, 232 i 332 do trzech ugięć, to powinno się wybrać środkową wartość 232. Odstępstwo od tej zasady pojawia się wtedy, gdy dwa zgięcia dają 0, podczas gdy w trzecim tworzą się pęcherzyki. W tym przypadku należy wybrać wyższą klasyfikację, ponieważ najważniejszą rzeczą jest odróżnienie przypadków, kiedy występuje wolna faza gazowa i kiedy jej nie ma.

---

<sup>50</sup>np. jeśli kody 222, 222 i 232 zostały przypisane do trzech zgięć, powinno się wybrać 222

