

OCENA SPRAWNOŚCI FIZYCZNEJ PŁETWONURKÓW W ŚWIELE PARAMETRÓW WENTYLACYJNYCH

Tadeusz Doboszyński, Bogdan Łokucijewski

Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej, Gdynia

STRESZCZENIE

W oparciu o dane z piśmiennictwa uznaje się, że w warunkach normobarii wydolność ogólna znajduje swój odpowiednik w pułapie tlenowym i jest ograniczona pojemnością minutową serca, w nurkowaniu natomiast jest ograniczana możliwościami wentylacyjnymi na które zasadniczy wpływ ma gęstość czynnika oddechowego.

Celem badań było ujawnienie zmian przystosowawczych w układzie oddechowym do podejmowania wysiłku pod wodą.

Badania przeprowadzono w komorze hiperbarycznej z udziałem 14 nurków, 7 wytrenowanych i 7 początkujących. W badaniach wykorzystano łatwe do wykonania próby stosowane do oceny i określenia sprawności układu oddechowego oraz do równoległego określenia zmian hemodynamicznych i oddechowych.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono, że wzrost gęstości gazów w hiperbarii, stanowi najpoważniejszy czynnik ograniczający maksymalną wentylację dowolną płetwonurków i że wytrenowanie ma pozytywny wpływ na wydolność oddechową w tych warunkach. Próbami najlepiej różnicującymi okazały się: próba maksymalnego ciśnienia wydechu oraz próba Flacka.

Słowa kluczowe: wydolność oddechowa, hiperbaria, wytrenowanie, adaptacja.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 47 Issue 2 pp. 59 - 68

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.47.6](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.47.6)

Strony: 14, rysunki: 0, tabele: 5.

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

Typ artykułu: oryginalny

Praca pierwotnie opublikowana w Roczniku Służby zdrowia Marynarki Wojennej 1973.

Zatwierdzono do druku w PolHyp Res.: 2.06.2014 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Marynarka Wojenna skupia w kraju największą ilość przygotowanych zawodowo nurków i płetwonurków. Jednakże nie z tego wyłącznie powodu podjęto powyższy temat, gdyż grupa ta w zestawieniu z innymi specjalistami nie jest aż tak liczna. Przyczyna jest inna. Wpływ odmiennych warunków pracy jakie stwarza środowisko wodne, pozostaje w tak dużym kontraście z warunkami pracy na lądzie, że w wielu wypadkach bywa on niedoceniony lub niewłaściwie rozumiany.

Z tego powodu pragniemy przeanalizować niektóre problemy związane z wpływem środowiska wodnego na wydolność płetwonurków. Należy zaznaczyć że zagadnienie to ma istotne znaczenie praktyczne, mimo że w piśmiennictwie obserwuje się niedostatek informacji na powyższy temat.

Podając badania w tym kierunku zdawaliśmy sobie sprawę z trudności znalezienia satysfakcjonującego rozwiązania, ponieważ zgodnie z ustalonym poglądem jest mało prawdopodobne uzyskanie wiarygodnej oceny wydolności zarówno ogólnej jak i specyficznej na podstawie jedynie kilku prostych wskaźników czy też prób fizjologicznych. Nawet jeżeli uwzględnimy, że w nurkowaniu określone cechy adaptacyjne mogą się rozwinąć a więc i zostać ujawnione nie tylko w przypadku efektywnego wykonywania pracy pod wodą, ale nawet w przypadku biernego przebywania w środowisku wodnym, jeżeli będzie ono dostatecznie często powtarzane i to na większych głębokościach a więc pod wyższym ciśnieniem. Istotny wpływ wywierają w tym względzie następujące czynniki: zanurzenie w wodzie, konieczność posługiwania się aparatem nurkowym oraz oddziaływanie zwiększonego ciśnienia.

Te trzy elementy powodują niecodzienne w porównaniu z warunkami na powierzchni /normobarią/ obciążenie funkcjonalne narządu oddechowego oraz zmienione pracy układu sercowo-naczyniowego.

Zasadniczy mechanizm oddziaływania nurkowania na funkcje oddychania można przedstawić na podstawie wpływu na ustrój nurka zanurzenia oraz wpływu zwiększonej gęstości mieszaniny oddechowej. Należy przy tym podkreślić, że wpływ zanurzenia na oddychanie jest w dużej mierze uzależniony od rodzaju sprzętu nurkowego, natomiast gęstość mieszaniny oddechowej a w tym najprostszym przypadku powietrza, pozostaje w prostej zależności do głębokości nurkowania. Wpływ na ustrój nurka każdego z tych dwóch czynników można przedstawić następująco: podczas zanurzenia w wodzie, gdy mięśnie oddechowe są rozluźnione i głośnia otwarta, ciśnienie otaczającej wody i pływalność wytwarzają w płucach określone ciśnienie. Ciśnienie to jest w przybliżeniu równe ciśnieniu wody na wysokości wycięcia rękonożki mostka. Tak więc na wysokości tego orientacyjnego punktu anatomicznego, będącego niejako „punktem równowagi ciśnienia”, ciśnienie pęcherzykowe rozluźnionego układu klatka piersiowa-płuca jest równe ciśnieniu hydrostatycznemu otaczającej wody.

W „punkcie równowagi ciśnienia” przeciwstawne sobie siły są więc zrównoważone. „Punkt równowagi” może być określony inaczej jako punkt eupneiczny. Wnikliwe badania na ten temat zostały przeprowadzone przez Patona [11]. Punkt eupneiczny zostaje zazwyczaj osiągnięty podczas wypełniania płuc objętością, która stanowi około 30% pojemności życiowej /VC/.

Ponieważ w aparatach nurkowych o obiegu otwartym automat oddechowy jest zazwyczaj umieszczony powyżej „punktu równowagi ciśnienia”, podobnie jak worek oddechowy w aparatach o obiegu półzamkniętym, ciśnienie w układzie płuca-worek oddechowy będzie niższe, a więc ujemne i nie będzie równoważyło ciśnienia wywieranego przez wodę na klatkę piersiową. Płetwonurek zostaje więc zmuszony do stałego wysiłku wdechowego. Ciśnienie ujemne o którym wspomniano, przesunie punkt równowagi poniżej 30% wypełnienia pojemności życiowej płuc. Spowoduje to, że oddychanie będzie przebiegało w zakresie energetycznie mniej wydajnym, gdyż najkorzystniejszy przedział znajduje się w zakresie 30% a 80% wypełnienia pojemności życiowej /VC/. Pomiędzy tymi wartościami najmniejszy wysiłek mięśni oddechowych powoduje największą zmianę objętości życiowej płuc. Innymi słowy w tym przedziale wymiana gazowa jest energetycznie najbardziej efektywna.

Niestety worek oddechowy rzadko znajduje się dokładnie na wysokości „punktu równowagi ciśnienia”, podobnie jak automaty w aparatach oddechowych o obiegu otwartym. W przypadkach skrajnych, gdy odchylenia od „punktu równowagi” przekraczają 20 cm, powoduje to dotkliwie odczuwalną niewygodę w oddychaniu.

Przy dodatnim ciśnieniu a więc gdy „worek lub automat oddechowy” jest umieszczony zbyt nisko, następuje niezamierzone wypełnienie płuc, jeśli nurek przeciwstawi się temu wysiłkiem wydechowym. W tych warunkach wdech następuje przy stopniowym zmniejszeniu wysiłku wydechowego.

Powoduje to, że mięśnie oddechowe mogą być zmuszone nie tylko do ciężkiej pracy, ale również do jej kontynuowania podczas obu faz oddychania /zamiast jednej fazy wdechu/. Mimo to brak równowagi i wytwarzane ciśnienia dodatnie w płucach jest mniej męczące aniżeli brak równowagi przy ciśnieniu ujemnym. /Wpływ ciśnienia ujemnego obserwujemy m.in. podczas pływania z rurką oddechową/. Przedstawione powyżej informacje odnośnie wymiany oddechowej płetwonurków uwzględniają wpływ zanurzenia.

Drugi z kolei czynnik różnicujący oddychanie pod ciśnieniem od oddychania w warunkach normalnych to jest w normobarii, to zwiększona gęstość mieszaniny oddechowej. Powietrze wdychane przez nurka, zgodnie z zasadą wyrównanego ciśnienia posiada gęstość zwiększoną proporcjonalnie do głębokości nurkowania. Z kolei gęstość ma istotne znaczenie dla charakteru przepływu gazów, który może być określony na podstawie liczby Reynoldsa:

$$Re = \frac{\rho v R}{\eta}$$

ρ – gęstość /g cm⁻³ /

v – średnia szybkość przepływu /cm sek⁻¹/

R – średnia przepływu /cm/

η - współczynnik lepkości /g cm⁻¹/.

Wyznaczona eksperymentalnie tzw. Wielkość krytyczna Reynoldsa 2320 określa rodzaj przepływu. Poniżej tej wielkości przepływ jest zwykle laminarny, powyżej zazwyczaj turbulentny. W ocenie mogą istnieć pewne odchylenia, ponieważ istotną rolę odgrywa morfologia dróg oddechowych.

W odniesieniu do oceny przepływu powietrza przez drogi oddechowe stoimy przed problemem szczególnym.

W rzeczywistości bowiem drzewo oskrzelowe posiada wielką ilość stopniowych rozgałęzień, z których każde powoduje zmianę kierunku przepływu. Ponadto nie jest stała średnica różnych kolejnych odcinków. Różnią się one również długością. Wreszcie średnica dróg oddechowych ulega cyklicznym zmianom, które towarzyszą rytmowi oddechowemu. Warunki powyższe są więc szczególnie nie tylko pod względem geometrycznym ale również pod względem dynamicznym, gdyż przepływ jest mocno zróżnicowany na odcinku pomiędzy tchawicą i drobnymi oskrzelikami.

Z powyższych względów liczba Reynoldsa ma zmienne wartości na całej długości drzewa oskrzelowego. Przepływ powietrza w drogach oddechowych już nawet podczas oddychania spoczynkowego na powierzchni przebiega na pewnych odcinkach w sposób laminarny na innych turbulentny.

Klasyczna praca Rohrer'a /1915/ sugerowała, że wartość ΔP /różnica między ciśnieniem pęcherzykowym PA i ciśnieniem przy wargach/ w drogach oddechowych może być przedstawiona jako suma dwóch składowych – przepływu laminarnego i turbulentnego.

$$\Delta P = K_1 V + K_2 V^2$$

$K_1 V$ reprezentuje przepływ warstwowy zgodnie z zależnością Hagen-Poiseuille'a, podczas gdy $K_2 V^2$ określa przepływ turbulentny. Opis ten ma charakter przybliżony na co zwraca uwagę Mead [9]. Zwiększonemu przepływowi wentylacyjnemu lub hiperwentylacji towarzyszy więc zwiększenie reakcji turbulentnej.

Na tych odcinkach, w których przepływ spoczynkowy był laminarny, podczas hiperwentylacji staje się on turbulentny. Zjawiska te w pełni porównywalnie znajdują odniesienie w fizjologii oddychania pod wodą. Oddychanie sprężonym powietrzem zgodnie z zasadą wyrównania ciśnienia /w drogach oddechowych z ciśnieniem toczenia/ powoduje wdychanie powietrza o zwiększonej gęstości. Liczba Reynoldsa' a /w której uwzględniona jest ta wartość/ wzrasta na całej długości drzewa oskrzelowego w tym samym odniesieniu.

Z punktu widzenia aerodynamiki, oddychanie w spoczynku na głębokości 40 m odpowiada hiperwentylacji na powierzchni, gdyż szybkość przepływu powietrza może być przyrównana do przepływu 5-krotnie większego. Innymi słowy, normalnemu oddychaniu na głębokości 40 m towarzyszy wzrost reakcji turbulentnej w takim stopniu jak gdyby miała miejsce hiperwentylacja na powierzchni.

Podczas przepływu turbulentnego opory są znacznie większe aniżeli przy przepływie laminarnym. Tak więc przy hiperwentylacji zwiększenie oporów przepływu może prowadzić do przekroczenia możliwości energetycznych mięśni oddechowych. Wentylacja niewystarczająca dla pokrycia potrzeb ustrojowych jest hypowentylacją.

Uważa się, że podczas oddychania w warunkach hiperbarii hipowentylację mogą powodować przynajmniej dwa czynniki: wzrost gęstości mieszaniny oddechowej, co zostało przedstawione, oraz zwiększona szybkość przepływu w następstwie wentylacji wysiłkowej.

W wyniku tego, hypowentylacja może wystąpić na niewielkiej głębokości podczas wysiłku oraz na dużej głębokości nawet w spoczynku.

W obu przypadkach dodatkowym czynnikiem sprzyjającym powstaniu hypo-wentylacji jest opór przepływu w aparacie nurkowym.

Następstwa hypowentylacji są takie jak je opisuje klinika tradycyjna, hiperkapnia, wzrost wyrzutu sercowego, ciśnienia tętniczego, ciśnienia śródczaszkowego. Nie występuje tu tylko hipoksemia, która towarzyszy hypowentylacji na powierzchni, ponieważ w powietrzu wdychanym pod ciśnieniem tlen znajduje się pod zwiększonym ciśnieniem cząstkowym.

Jak więc należy ocenić możliwości kontynuowania dużego wysiłku fizycznego w normobarii i hiperbarii w świetle przytoczonych danych? Uważa się, że podczas wysiłku na powierzchni jedna z najistotniejszych wielkości określających wydolność a mianowicie minutowe zużycie tlenu / $\dot{V}O_2 \text{ max}$ /, jest ograniczone przez czynniki sercowo-naczyniowe oraz stężenie kwasu mlekowego. W hiperbarii ograniczenie aktywności zależy w dużej mierze od poziomu pęcherzykowego $CO_2/PACO_2$, jakie nurek może jeszcze tolerować. Niezmiernie ważne jest również stwierdzenie Lanphier'a /5/, że w przypadku gdy czynnikiem ograniczającym skrajny wysiłek jest wentylacja, może on być utrzymany przez dłuższe okresy aniżeli przy ograniczeniu przez czynniki sercowo-naczyniowe.

Z przytoczonych danych wynikają następujące stwierdzenia. O ile w warunkach normobarii wydolność ogólna znajduje swój odpowiednik w pułapie tlenowym i jest ograniczona pojemnością minutową serca, w nurkowaniu /hiperbarii/ jest ograniczana możliwościami wentylacyjnymi. Gęstość gazu zwiększa opór w drogach oddechowych, natomiast różnice w ciśnieniu eupneicznym i hydrostatycznym zakłócają właściwości elastyczne układu płuca-klatka piersiowa. Prowadzi to do wzrostu pęcherzykowego i tętniczego poziomu CO_2 ograniczając wysiłek.

Opierając się na przytoczonych danych z których wynika, że podczas pracy pod wodą poziom wydolności jest ograniczony w pierwszym rzędzie wydolnością układu oddechowego, postanowiono przeprowadzić badania płetwonurków, których celem byłoby ujawnienie ewentualnych zmian przystosowawczych w układzie oddechowym do podejmowania wysiłku pod wodą. Równocześnie ustalono, że mają to być próby dostępne, tak aby w przypadku stwierdzenia ich przydatności mogły być zalecone do szerszego stosowania. Postanowiono więc posłużyć się znanymi próbami stosowanymi do oceny i określenia sprawności układu oddechowego oraz próbami do równoległego określenia zmian hemodynamicznych i oddechowych.

Badanych płetwonurków podzielono na dwie grupy. Do grupy pierwszej zaliczono instruktorów, z których większość posiadała kilkuletni staż zawodniczy. Do drugiej grupy zaliczono kursantów po 2-miesięcznym okresie szkolenia, uprzednio nie nurkujących.

W badaniach postanowiono uwzględnić pomiar VC. Następnie postanowiono określić maksymalną wentylację dowolną / MVV_{15} /, ponieważ wielkość ta zdaniem niektórych badaczy [5] jest przydatna do szacunkowej oceny maksymalnej efektywnej wentylacji / $V_e \text{ max}$ / . Zrezygnowano natomiast z określenia maksymalnego czasu zatrzymania oddechu, ze względu na małą wiarygodność danych uzyskanych na tej drodze [7], a postanowiono posłużyć się próbą Flacka jako bardziej obiektywną i szczególnie cenną w kwalifikowaniu płetwonurków.

METODYKA

Tab. 1

Oznaczono:
Pojemność życiową /VC/
Należną pojemność życiową /VC/ wg Cournanda
Maksymalną siłę wydechu /P _e max
Należną maksymalną wentylację dowolną /MVV/ wg Baldwina
Próba Flacka
Maksymalną wentylację dowolną „MVV ₁₅ ” przy użyciu aparatu płetwonurkowego z automatem oddechowym typu „Mors”
Przy ciśnieniu 1 ata
Przy ciśnieniu 2 ata
Przy ciśnieniu 4 ata
Określano na podstawie wzrostu i wagi z tabel obliczeniowych wg wzoru Cournanda [4];
Precyzyjnym manometrem sprężynowym /dokładność wskazań 5 mm Hg/;
Na podstawie wzoru $MVV = /86,5 - 0,552 \times \text{wiek} / \times \text{powierzchnia ciała} / \text{m}^2$;
40 sek. Zatrzymanie oddechu na wdechu przy P ₃ 40 mm Hg z oceną zmian tętna wg tabeli Flacka [4];
Objętość wydychanego powietrza określono na podstawie spadku ciśnienia w butli ze sprężonym powietrzem;
Pomiar przeprowadzono w komorze ciśnieniowej
Pomiar przeprowadzono w komorze ciśnieniowej

WYNIKI

Cechy fizyczne płetwonurków zakwalifikowanych do grupy instruktorów zostały przedstawione w tabeli 2, natomiast cechy fizyczne kursantów w tabeli 3. Średnie wielkości maksymalnej wentylacji dowolnej „MVV₁₅” w aparacie „Mors” oznaczone na powierzchni i w hiperbarii przedstawiono w tabeli 4. Tabela 5 zawiera ocenę statystyczną wyników grupy instruktorów i kursantów.

Tab. 2.

Cechy fizyczne grupy instruktorów.	
1. Ilość badanych	7
2. Wzrost /cm/	179-182
3. Waga /kg/	70-79
4. Wiek	26-31
5. VC /ml/	5400/4500-6100/
6. VC /ml/ wg wzoru Cournanda	4300/4100-4450/
7. $\Delta VC / 5 - 6 / \%$	+20
8. P _e max /mm Hg/	202/195-210/
9. Próba Flacka / grupa /	I
10. MVV ₁₅ /1/min/ wg wzoru Baldwina	136/128-145/

Tab. 3.

Cechy fizyczne grupy kursantów.	
1. Ilość badanych	7
2. Wzrost /cm/	167-179
3. Waga /kg/	57-80
4. Wiek	20-22
5. VC /ml/	5000/4200-7000/
6. VC /ml/ wg wzoru Cournanda	4400/4300-4600/
7. $\Delta VC / 5 - 6 / \%$	+12
8. P _e max /mm Hg/	140/110-170/
9. Próba Flacka / grupa /	I-III
10. MVV ₁₅ /1/min/ wg wzoru Baldwina	135/123-150

Średnie maksymalnej wentylacji dowolnej „MVV₁₅” w aparacie „Mors” na powierzchni i w hiperbarii.

	Ciśnienie ata	Ilość prób	„MVV ₁₅ ” l/min x	%	Błąd stand E
Instruktorzy	1	14	145 ± 18,0	100	4,8
	2	14	88 ± 12,2	61	3,2
	4	14	65 ± 12,0	45	3,1
Kursanci	1	28	138 ± 9,1	100	3,4
	2	28	87 ± 6,8	63	2,6
	4	28	54 ± 6,9	39	2,6

Ocena statystyczna wyników.

	Instruktorzy x	Kursanci x	Znamiennosc statyst. test t Studenta
Spirometria /ml/	5400	5000	Różnice nieznamienne
„MVV ₁₅ ” przy 1 ata/1/min	145	138	Różnice nieznamienne
„MVV ₁₅ ” przy 2 ata/1/min	88	87	Różnice nieznamienne
„MVV ₁₅ ” przy 4 ata/1/min	65	54	Różnice nieznamienne
P _e max /mm Hg/	202	140	Różnice znamienne /6,0 t/
Próba Flacka /grupa/	I	I-III	Klasyfikacja odmienna

DYSKUSJA

Jak wynika z tabeli 2, grupę instruktorów liczącą 7 osób charakteryzuje wysoka pojemność życiowa /VC/ równa 5400 ml, wyższa o około 20% od pojemności należnej obliczonej wg wzoru Cournanda. Tego rodzaju różnica jest typowa zdaniem niektórych badaczy dla osób czynnie uprawiających sport bez uwzględnienia uprawianej dyscypliny.

Za wielkość charakterystyczną można uznać wartość maksymalnej siły wydechu P_e max wyrażonej w mm Hg, która to wielkość wynosi średnio 202 mm i wykazuje niewielkie odchylenia u poszczególnych badanych. Warto podkreślić, że za wartość prawidłową uznaje się 60 – 100 mm Hg [12]. Również korzystnie charakteryzuje badanych próba Flacka, w której nie ujawniono zakłóceń tętna u badanych pod wpływem działania nadciśnienia płucnego o wartości 40 mm Hg podczas zatrzymanego oddychania.

W wybranej losowo grupie kursantów / po 2-miesięcznym okresie szkolenia/ znajdowali się płetwonurkowie młodszy o kilka lat aniżeli w grupie poprzedniej oraz o nieco mniejszym ciężarze ciała. Podobnie jak w grupie pierwszej tu również stwierdzono wyższą pojemność życiową /VC/ aniżeli obliczona wg wzoru Cournanda. Jednakże ustalona różnica była mniejsza i przewyższała obliczoną wg wzoru wartość o 12%. Średnia maksymalnej siły wydechu /P_e max/ wynosiła w tej grupie 140 mm Hg, a więc również mniej aniżeli w grupie instruktorów. Wynik próby Flacka był także mniej korzystny, ponieważ nie wszyscy badani zostali zakwalifikowani do grupy pierwszej. Średnia wartość

maksymalnej wentylacji dowolnej /„MVV₁₅” tab. 4/ oznaczone przy ciśnieniu ata 1 były wyższe w obu grupach od wartości obliczonych wg wzoru Baldwina [4] mimo, że zostały oznaczone przy pomocy sprzętu charakteryzującego się znacznymi oporami przepływu. Uwzględniając warunki przeprowadzania próby wskazywałoby to na dużą sprawność narządu oddechowego w obu grupach, mimo że za pomocą wzoru Baldwina uzyskuje się wyniki zbyt niskie.

Pomiary wykonane przy zwiększonym ciśnieniu 2 i 4 ata wykazały znamienne obniżenie wentylacji w miarę wzrostu ciśnienia. Przy ciśnieniu 4 ata maksymalna wentylacja dowolna „MVV₁₅” obniżyła się w grupie instruktorów do 45% wartości wyjściowej zaś w grupie kursantów do 39%.

Tabela 5 przedstawia porównanie uzyskanych wyników oraz ocenę statystyczną znamienneści różnic pomiędzy obu grupami zarówno w pomiarach spirometrycznych jak i w wartościach „MVV₁₅” pomimo, że wartości uzyskane przez grupy instruktorów były we wszystkich wypadkach wyższe. Wyniki spirometryczne grupy instruktorów nie odbiegają od wartości podawanych w piśmiennictwie dla instruktorów amerykańskich, u których średnia wartość VC wynosiła 5600 ml [1].

Stwierdzone obniżenie MVV w funkcji ciśnienia można przedstawić jako proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z wartości ciśnienia wyrażonego w ata. Na zależność tę zwrócił uwagę Cotes a potwierdził Miles, Wood, Maio, Fahri i inni [2,8,10,13]. Wielkość MVV określana przez tych badaczy w sprężeniu niskooporowym wynosiła przy ciśnieniu 4 ata około 50% wartości wyjściowej. W naszym przypadku przy użyciu aparatu „Mors” uzyskaliśmy 45% i 39% wartości wyjściowej. Jest to odchylenie w prawdzie nie duże, należy jednak uwzględnić również tę okoliczność, że wartość odniesienia przy użyciu aparatu „Mors” była niższa.

Znamienne różnice stwierdzono natomiast w wartościach maksymalnej siły wydechu P_emax. Również odmienne oceny wykazało porównanie wyników próby Flacka, gdyż grupę kursantów charakteryzował większy rozrzut ocen.



Nasuwa się więc pytanie jak należałoby interpretować stwierdzone różnice w średnich wartościach maksymalnego ciśnienia wydechu, w teście Flacka oraz jak wyjaśnić brak różnic w wartościach „MVV₁₅”.

Wyższe wartości maksymalnego ciśnienia wydechu wydają się być wyrazem adaptacji mięśni klatki piersiowej instruktorów do warunków utrudnionej wentylacji z jaką spotykają się podczas nurkowania. Przemawia za tym również znaczne przekroczenie wartości przyjętej za normę, jak i uzyskanie wyników znacznie wyższych aniżeli w grupie kursantów.

Różnice między oboma grupami w ocenie przy pomocy testu Flacka przy jednoznacznej ocenie wszystkich płetwonurków w grupie instruktorów wydają się być w głównej mierze wyrazem selekcji jaka następowała w tej grupie. Grupę instruktorów stanowią bowiem płetwonurkowie o kwalifikacjach zawodniczych, którzy nie mogliby uzyskiwać wartościowych wyników w nurkowaniach sportowych nawet przy nieznanych zaburzeniach układu krążenia. Nie można jednak wykluczyć rozwinięcia się zmian dostosowawczych, wskazujących na wysoki stopień wytrenowania tej grupy.

Brak statystycznie znamienych różnic w wartościach „MVV₁₅” wydaje się wynikać z kilku powodów, wśród których być może największą rolę odgrywa krótki czas trwania próby. Jak bowiem podaje Varene, jeżeli pomiar jest prowadzony w czasie 4 minut a nie podczas 15 sek., uzyskiwane wartości są znacznie niższe i charakteryzują się większym rozrzutem. Zosche, Fritts, Courmand [3,5] stwierdzili spadek maksymalnej wentylacji / $\dot{V}_{e,max}$ / do 53% wartości „MVV₁₅” podczas 15-minutowego wysiłku oddechowego wykonywanego bez dodatkowego obciążenia czynnikami środowiska /imersja, gęstość gazu, opory aparatu/.

Nie jest więc wykluczone, że wyniki instruktorów w miarę przedłużania czasu próby lub dalszego wzrostu ciśnienia wykazywałyby większe odchylenia od wyników kursantów. Niestety w chwili obecnej w odpowiedzi na to pytanie nie możemy przytoczyć konkretnych argumentów. Przemawiałaby jednak za tym wysoka sprawność instruktorów w nurkowaniach wytrzymałościowych i szybkościowych w porównaniu z innymi nurkowaniami. Równocześnie jednak odgrywa tu rolę jeszcze drugi czynnik, chociaż zależny od pierwszego, a mianowicie możliwość kontynuowania wysiłku przy wysokim poziomie pęcherzykowego CO₂/PACO₂/, do czego są zdolni jedynie wytrenowani, doświadczeni nurkowie. Jak podaje Lanphier przy $\dot{V}CO_2 = 2,0$ l wysiłek mógł być utrzymany w jednym przypadku przez okres poniżej 30 minut a w innym przez ponad 60 minut, w zależności od tego czy pęcherzykowe PACO₂ wynosiło 40 mm Hg czy 60 mm Hg [5].

Równocześnie ten sam badacz stwierdził, że zwiększona tolerancja sprawia, że dobry nurek rzadko przestaje pracować w wyniku tego, że nie może utrzymać pęcherzykowego CO₂ /PACO₂/ na poziomie 40 mm Hg, gdyż zmniejszona tolerancja na CO₂ umożliwia mu znoszenie znacznie wyższych poziomów. Ma to decydować według niektórych badaczy o wydolności w pracy podwodnej [5]. Potwierdza to pogląd, że wydolność ogólna jest zależna od poziomu wydolności poszczególnych układów, przy czym zależność ta jest niewątpliwie bardzo złożona i na razie niewymierna.

Odnośnie możliwości znoszenia wysokich poziomów CO₂ należy zaznaczyć, że jest to możliwe jedynie w aparatach powietrznych, ponieważ posługiwanie się tlenem lub mieszaninami wzbogaconymi w tlen przez płetwonurków o obniżonej wrażliwości chemoreceptorów na działanie CO₂ naraża ich w większym stopniu aniżeli innych na zatrucie tlenem [6].

Z przedstawionego materiału wynika jak trudnym problemem jest ustalenie kryteriów oceny wydolności płetwonurków oraz dobór odpowiednich wskaźników.

WNIOSKI

1) Wzrost gęstości gazów pod wpływem zwiększonego ciśnienia, stanowi najpoważniejszy czynnik ograniczający maksymalną wentylację dowolną płetwonurków, którą można uznać za wykładnik możliwości wentylacyjnych.

2) Ograniczenia wentylacyjne wywołane warunkami środowiska nie u wszystkich wywołują jednakowy spadek wydolności.

3) W ocenie dwóch grup o niejednakowej sprawności, próbami różnicującymi okazały się: próba maksymalnego ciśnienia wydechu oraz próba Flacka.

BIBLIOGRAFIA

- Carey E.M., Schaefer K.E., Alys H.J.: J.Appl.Physiol. 8,51, 1956.
- Cotes J.E.: Lung function. Blackwell, Oxford 1968.
- Comroe H.J.: The lung. Year Book Med.Pub., Chicago 1965.
- Koziorowski A.: Metody badań czynnościowych płuc. PZWŁ, 1964.
- Lanphier E.H.: w Diving Physiology. Bailliere, London, 1969.
- Łokucijewski B., Doboszyński T.: Lek.Wojsk. 1972, 9:88.
- Łokucijewski B., Doboszyński T.: Lek.Wojsk. 1972, 4:377.
- Maio D.A., Farhi L.E.: J.Appl.Physiol, 1967, 23:687.
- Mead J.: J.Appl.Physiol, 1963, 18:241.
- Miles S.: Underwater medicine. Staples Press, London 1966.
- Paton W.D.: J.Physiol, 1947, 106:119.
- Sidrowicz W.: Zarys metodyki badań i poradnictwa sportowo-lekarskiego PZWŁ, Warszawa 1962.
- Wood W.B.: Arch.Environ.Health, 1963, 7:47.