

OCENA OBCIĄŻENIA FIZJOLOGICZNEGO NURKA PODCZAS UTRZYMYWANIA SIĘ W POZYCJI PIONOWEJ NA POWIERZCHNI W ZALEŻNOŚCI OD WYKORZYSTYWANEGO URZĄDZENIA RATUNKOWO – WYPORNOŚCIOWEGO

Aleksandra Żebrowska¹⁾, Piotr Siermontowski²⁾, Rafał Mikołajczyk¹⁾, Marcin Sikora¹⁾, Olga Łakomy¹⁾

¹⁾Katedra Nauk Fizjologiczno-Medycznych, AWF Katowice

²⁾Katedra Technologii Prac Podwodnych, AMW Gdynia

STRESZCZENIE

Dotychczas nie w pełni poznane są reakcje fizjologiczne, które wpływają na zdolność utrzymania się w warunkach zanurzenia w wodzie nurków w sytuacji zagrożenia. Sugeruje się, że zdolności przystosowawcze do długotrwałego obciążenia organizmu podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni mogą wynikać z indywidualnych predyspozycji nurka i stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych. Celem badań była ocena obciążenia fizjologicznego nurka w sprzęcie lekkim podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni w zależności od wykorzystywanego urządzenia ratunkowo – wypornościowego. W badanej grupie nurków zmierzono wskaźniki fizjologiczne podczas zanurzenia w wodzie w pozycji pionowej z utrzymaniem twarzy na powierzchni w dwóch różnych kamizelkach ratunkowo – wypornościowych tj.: klasycznej i typu skrzydło. Większe zapotrzebowania na tlen, przyspieszenie rytmu pracy i większe ryzyko obniżenia dostępności tlenu po trzydziestu minutach utrzymywania się na powierzchni wody stwierdzono w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do kamizelki klasycznej. Wyniki badań niniejszej pracy potwierdzają możliwość wykorzystania wskaźników fizjologicznych do oceny funkcji ratunkowej urządzeń wypornościowo-ratunkowych u nurków.

Słowa kluczowe: nurkowanie, kamizelka ratunkowo-wypornościowa, bezpieczeństwo, wydolność fizyczna.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 76 Issue 3 pp. 35 – 44

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0015

Rysunki: 10, rysunki: 3, tabele: 2

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 15.05.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 17.06.2021 r.



WSTĘP

W latach 80-ych XX wieku powstały pierwsze urządzenia ratunkowo – wypornościowe przeznaczone dla nurków. Z braku innych wzorców konstrukcję oparto na kamizelkach ratunkowych a konkretnie na typie stosowanym u pilotów samolotów wojskowych. W ten sposób powstała pierwsza kamizelka w Polsce nazywana „*chomątem*”. Dość szybko kamizelka przede wszystkim ratunkowa wyewoluowała do faktycznej (również z wyglądu) kamizelki, która połączyła funkcje ratunkowe i wypornościowe z funkcją noszaka do butli. Pierwsze modele były dołączone do noszaka, późniejsze (aż do dziś) są równocześnie noszakami. Na przednich powierzchniach kamizelki zaczęły pojawiać się zaczepy, D-ringi i inne urządzenia do przyczepiania dodatkowego sprzętu. Dla wygody posługiwania się tymże ramiona kamizelki przestały być (jak w „*chomącie*”) nadmuchiwane. Dalsza ewolucja zlikwidowała wszystkie elementy wypornościowe z przodu nurka, zostawiając jedynie podkowiastego kształtu worek za jego plecami. Powstała kamizelka typu „*skrzydło*”- obecnie najmłodniejsza.

Funkcja ratunkowa stosowanych kamizelek jest stosunkowo dobrze poznana. Napełniona powietrzem czy innym gazem kamizelka ma za zadanie utrzymać na powierzchni wody nurka przez dowolną ilość czasu – aż do przybycia pomocy. Dotyczy to również nurka nieprzytomnego. Drugą częścią funkcji ratunkowej jest możliwość wyniesienia nurka z głębi na skutek zwiększenia pływerności poprzez dodanie gazu do wnętrza kamizelki zwiększając jej objętość a tym samym wypór. Funkcja wypornościowa (w pierwotnym założeniu funkcja pomocnicza) umożliwia podjęcie w krótkim czasie akcji ratunkowej. Dodawanie i upuszczanie gazu z wnętrza kamizelki pozwala na utrzymanie pływerności zerowej niezależnie od głębokości. Zastosowanie urządzenia ratunkowo-wypornościowego może w pewnym zakresie determinować możliwości podjęcia skutecznej akcji ratowniczej w przypadku konieczności utrzymania na powierzchni i holowania nurka. Ważnym z punktu widzenia podjętej akcji ratowniczej jest stan funkcjonalny nurka, który jest zależny od czasu narażenia na niedotlenienie (uraz ciśnieniowy) oraz obniżenie wydolności oddechowo-krążeniowej [1,2].

Wśród obecnie stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych wymienić należy [1]:

- kamizelki typu „*chomąto*”, w których środek wyporu znajduje się przed górną częścią klatki piersiowej nurka. Kamizelka tego typu spełnia głównie funkcję ratunkową w mniejszym stopniu wypornościową. Brak funkcji fiksacji elementów wyposażenia nurka. Obecnie prawie niespotykane w praktyce.
- kamizelki klasyczne, w których środek wyporu znajduje się na przedniej powierzchni klatki piersiowej lub do przodu od płaszczyzny przekroju strzałkowego ciała. Funkcja ratunkowa i wypornościowa są zrównoważone. Funkcja noszaka i montaż elementów sprzętu.
- kamizelki typu „*skrzydło*”, w których środek wyporu znajduje się do tyłu od płaszczyzny przekroju strzałkowego ciała, w niektórych modelach za ciałem nurka. Funkcja wypornościowa dominuje, funkcja ratunkowa wątpliwa. Wygodny noszak i mocowanie elementów sprzętu.

W większości krajów świata w tym w Polsce istnieje obowiązek obowiązków nurkowania z użyciem urządzeń ratunkowo – wypornościowych. Dużą część programów szkoleń płetwonurków – amatorów zajmuje nauka obsługi kamizelki. Programy szkoleniowe obejmują obsługę kamizelki jako urządzenia wypornościowego, ewentualnie innych jej możliwości (zaczepy na sprzęt), natomiast nie jest poruszana tematyka funkcji ratowniczej a szczególnie długotrwałego utrzymywania się nurka w pozycji pionowej na powierzchni [3].

Wydaje się, że dobór odpowiedniego sprzętu ratunkowego jest ważnym czynnikiem decydującym o adaptacji fizjologicznej nurka, dodatkowo narażonego na ryzyko obniżenia tolerancji wysiłkowej związanej z długotrwałym przebywaniem w wodzie, utrzymywaniem się na powierzchni w zmiennych warunkach środowiska zewnętrznego [4]. Do najbardziej istotnych czynników ryzyka związanych z długotrwałym przebywaniem w wodzie należą: obniżona adaptacja układu krążeniowo-oddechowego, bradykardia, zmniejszenie tempa reakcji metabolicznych dla zrównoważenia zapotrzebowania energetycznego mięśni szkieletowych, hipotermia [4, 5]. Optymalna adaptacja do zmiennych warunków termicznych, obniżenie zdolności do podejmowania racjonalnych decyzji w sytuacji stresu (percepcja zagrożenia), lęk i narastające zmęczenie. Dotychczas nie w pełni poznane są reakcje fizjologiczne, które wpływają na zdolność utrzymania się w warunkach zanurzenia w wodzie oraz zwiększenie rezerwy czynnościowej organizmu u nurków w sytuacji zagrożenia. Sugeruje się, że pewien wpływ na zdolności przystosowawcze do długotrwałego obciążenia układu oddechowego i sercowo-naczyniowego mogą wynikać z indywidualnych predyspozycji zawodnika i stosowanych urządzeń ratunkowo-wypornościowych [6].

Dlatego celem badań była ocena obciążenia fizjologicznego nurka w sprzęcie lekkim podczas utrzymywania się w pozycji pionowej na powierzchni w zależności od wykorzystywanego urządzenia (kamizelki) ratunkowo – wypornościowego.

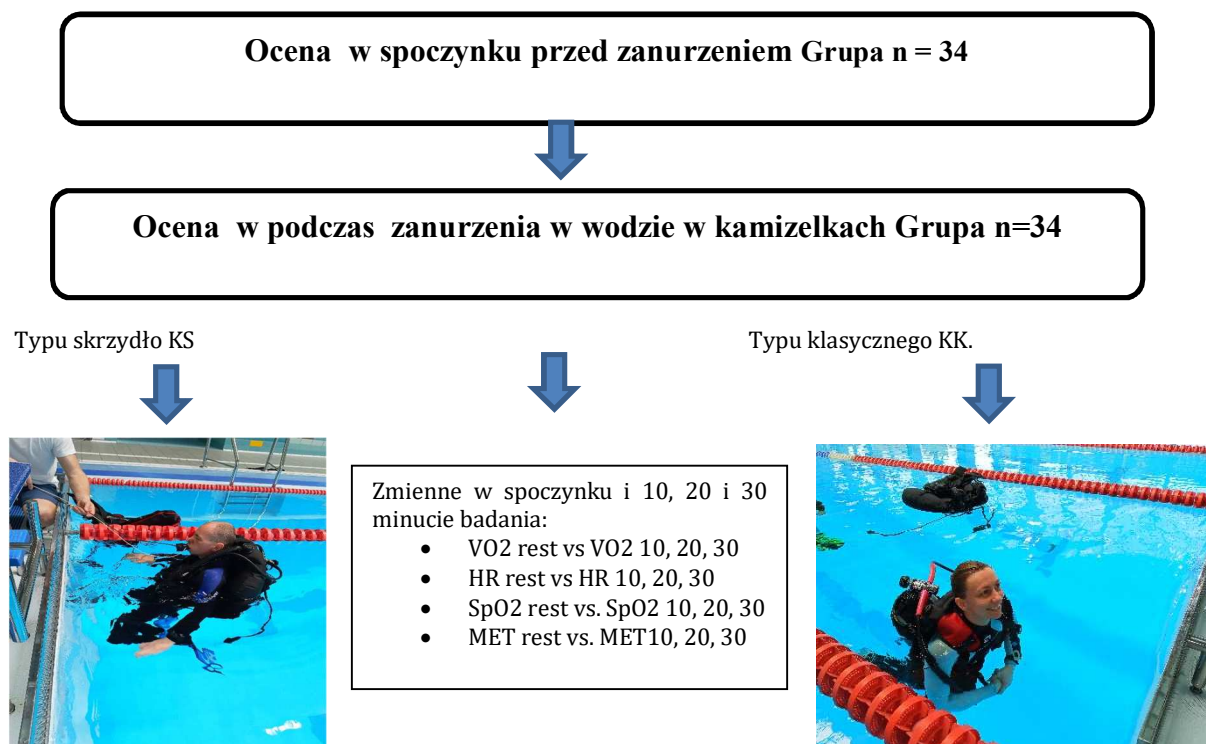
MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na krytej pływalni Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach, w wodzie o temperaturze 26°C w warunkach bezwietrznych i przy dziennym świetle. W badaniach uczestniczyło 20 mężczyzn i 14 kobiet w zbliżonym przedziale wiekowym rekreacyjnie uprawiających nurkowanie. Wiek badanych wynosił $21,7 \pm 5,9$ lat, masa ciała $70,6 \pm 14,4$ kg, wysokość ciała $174,8 \pm 9,6$ cm, BMI $22,9 \pm 3,3$ i zawartość tkanki tłuszczowej $15,2 \pm 6,4$ %. Skład ciała został oceniony techniką impedancji elektrycznej z wykorzystaniem analizatora In Body570 Biospace Inc., Seoul, Korea. Przed przystąpieniem do właściwego protokołu badań u wszystkich badanych zmierzono częstość skurczów (HR), ciśnienie tętnicze krwi, wykonano badania spirometryczne i pomiar spoczynkowy zużycia tlenu (VO_2). Dokonano pomiaru wysycenie hemoglobiny tlenem ($SatO_2$).

Wszyscy badani uczestniczyli w dwóch protokołach badań w celu określenia wskaźników fizjologicznych podczas zanurzenia w wodzie w pozycji pionowej z utrzymaniem twarzy na powierzchni w dwóch różnych kamizelkach ratunkowo – wypornościowych tj.:

klasycznej (KK) i typu skrzydło (KS). Kolejność wykonania próby ustalono losowo a udział w drugiej próbie nastąpił nie wcześniej niż po 3 dniach od pierwszego badania.

Pomiar wskaźników fizjologicznych wykonano w spoczynku przed każdym badaniem oraz powtórzono w 10, 20 i 30 minucie po teście w każdym protokole badań (KK vs KS). Zmierzono zużycie tlenu (VO_2) i objętość dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu (VCO_2). W trakcie badania mierzone były: wentylacja płuc (VE), częstość oddechów (BF) i objętość oddechowa (TV). Wyliczono wskaźnik względny poboru tlenu (VO_2/kg), metaboliczny równoważnik tlenu (MET) oraz wskaźnik wentylacyjno-perfuzyjny (VE/VO_2). Do oceny wskaźników oddechowych podczas wysiłku fizycznego wykorzystano ergospirometr (Ergo2000M software MES, Polska). Dokonano pomiaru wysycenie hemoglobiny tlenem ($SatO_2$) z zastosowaniem pulsoksymetru (Konica Minolta PULSOX-300i, Japan). Podczas trwania badania w sposób ciągły rejestrowano rytm pracy serca (HR) (POLAR H10 HearRate opr. 3.1.1 Kempele, Finlandia). Ciśnienie tętnicze (DBP, SBP) zmierzono przed i bezpośrednio po próbie ciśnieniomierzem (OMRON M2, Japonia). Wszyscy badani zostali poinformowani o celu i przebiegu badań i wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. Protokół badania przedstawiono na rycinie 1.



Rys. 1 Protokół badań.

Dokonano analizy statystycznej uzyskanych wyników. Wyznaczono podstawowe charakterystyki statystyki opisowej parametrów ocenianych w skali przedziałowej (średnią, odchylenie standardowe – SD, błąd standardowy średniej – SEM, przedział ufności, skośność i kurtozę). Dla każdego ocenianego parametru przeprowadzono test Shapiro-Wilka sprawdzając zgodność jego rozkładu z rozkładem normalnym. Wartości zostały przedstawione jako średnie i odchylenia standardowe (\bar{x} , SD). W drugim etapie istotność statystyczną przyjęto na poziomie $p < 0,05$. Wykorzystano analizę wariancji z powtarzalnym pomiarem poprzedzoną testem Levene'a sprawdzającym jednorodność wariancji. Badano wpływ następujących czynników: rodzaju kamizelki (KK vs KS) i czas trwania próby (sp vs 10', 20' i 30') na analizowane zmienne. Bazę danych opracowano przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego Excel v.2019 z pakietu Microsoft Office. Do analizy statystycznej wykorzystano program statystyczny Statistica v. 13.3 firmy StatSoft.

WYNIKI

Osoby biorące udział w badaniach były w podobnym wieku, charakteryzowały się podobnymi wskaźnikami somatycznymi a wszystkie wyniki spoczynkowe znajdowały się w zakresie wartości referencyjnych (Tabela 1).

W badanej grupie przeprowadzone zostało badanie spoczynkowe podczas zanurzenia w wodzie w kamizelce ratunkowo- wypornościowej klasycznej (KK) i typu skrzydło (KS). Wyniki tego badania przedstawiono w tabeli 1 dla wartości spoczynkowych i tabeli 2 dla wartości mierzonych podczas prób utrzymania pozycji pionowej z twarzą nad powierzchnią wody. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ rodzaju zastosowanej kamizelki (KK vs KS) na zużycie tlenu podczas prób ($F=9,80$ $p<0,001$) i istotnie większe zużycie tlenu (VO_2 [ml/min/kg]) w 10', 20', i 30 minucie zanurzenia w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do kamizelki klasycznej ($p<0,001$) (Tabela 2). W odniesieniu do VO_2 w spoczynku w badaniu KS obserwowano istotny wzrost zużycia tlenu w porównaniu do wartości przed próbą ($p<0,001$). Podobne zależności stwierdzono w oceni wskaźników oddechowych i istotny wpływ rodzaju kamizelki na (VCO_2) i wentylację minutową płuc (VE). Rodzaj stosowanej kamizelki nie miał istotnego wpływu na wentylację minutową płuc

przypadającą na objętość pobieranego tlenu w (VE/VO_2). Pomimo braku istotnych różnic pomiędzy protokołami badań, zaobserwowano tendencję do większej objętości oddechowej (VT) i mniejszej $SatO_2$ w badaniu w kamizelce typu „skrzydło” w porównaniu do klasycznej. Istotne obniżenie wysycenia hemoglobiny tlenu zaobserwowano w 30 minucie badania w KS w porównaniu do $SatO_2$ przed badaniem ($p < 0,05$). Rytm pracy serca mierzony w badaniu w KK nie różnił się istotnie w porównaniu do wartości spoczynkowej ($p > 0,05$). Istotnie różnicę zaobserwowano w badaniu w kamizelce typu skrzydło KS w porównaniu do wartości spoczynkowej ($p < 0,01$) oraz do badania w KK w kolejnych pomiarach ($F = 5,38$; $p < 0,01$) (Tabela 2). W przypadku ciśnienia tętniczego krwi (SBP, DBP) nieznacznie niższe wartości zostały uzyskane w badaniu KK niż w KS. Wyniki te nie były istotne statystycznie.

Tab 1.

Wskaźniki fizjologiczne w spoczynku w grupie badanej w kamizelce ratunkowo- wypornościowej Klasycznej (KK) i typu Skrzydło (KS) (średnia \pm SD).

Wskaźnik	KK	KS	P
VO_2 [$ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$]	6.8 ± 2.0	6.7 ± 1.5	Ns
VE [$l\ min^{-1}$]	16.3 ± 6.6	15.4 ± 4.5	Ns
HR [bpm]	72.0 ± 16.0	71.0 ± 15.0	Ns
SBP [mm Hg]	119.0 ± 13.4	118.0 ± 12.2	Ns
DBP [mm Hg]	78.0 ± 8.1	80.0 ± 8.2	Ns
VE/VO_2 [l]	32.6 ± 6.6	31.4 ± 5.2	Ns
MET	1.9 ± 0.6	1.9 ± 0.4	Ns
$SatO_2$ [%]	97.8 ± 1.3	98.2 ± 0.9	Ns

VO_2 – pobór tlenu; VE-wentylacja minutowa płuc; HR- rytm pracy serca; SDP/DBP –systoliczne i diastoliczne ciśnienie krwi
MET- metaboliczny ekwiwalent, $SatO_2$ -wysycenie hemoglobiny tlenem; ns- nie istotne statystycznie
P – istotność statystyczna pomiędzy grupami.

Tab 2.

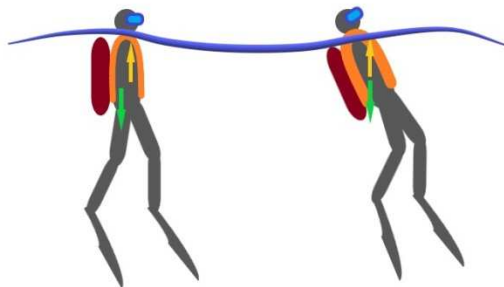
Wskaźniki fizjologiczne podczas zanurzenia w wodzie w kamizelce ratunkowo- wypornościowej Klasycznej (KK) i typu Skrzydło (KS) (średnia \pm SD).

Wskaźnik	Zmiany wskaźników w czasie			Efekt protokołu i czasu pomiaru.		Post hoc		
	Po 10 min.	Po 20 min.	Po 30 min	F	p	Post hoc 10' KK vs KS	Post hoc 20' KK vs KS	Post hoc 30' KK vs KS
VO_2 [$ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$]KK	$8,4 \pm 2,4$	$8,1 \pm 2,3$	$8,0 \pm 2,5$	9,80	0,001	0,000	0,000	0,001
VO_2 [$ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$]KS	$11,2 \pm 3,9$	$11,0 \pm 3,6$	$10,8 \pm 3,0$					
VCO_2 [$l\ min^{-1}$]KK	$0,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1$	9,80	0,001	0,000	0,000	0,001
VCO_2 [$l\ min^{-1}$]KS	$0,7 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,2$					
VE [$l\ min^{-1}$]KK	$17,3 \pm 4,9$	$16,6 \pm 4,8$	$16,3 \pm 4,7$	8,96	0,001	0,000	0,000	0,019
VE [$l\ min^{-1}$]KS	$21,6 \pm 7,6$	$20,8 \pm 7,7$	$20,1 \pm 7,1$					
HR [bpm]KK	$79,0 \pm 17,0$	$75,0 \pm 15,0$	$73,0 \pm 16,0$	5,38	0,01	ns	0,006	0,004
HR [bpm]KS	$88,0 \pm 16,0$	$89,0 \pm 17,0$	$88,0 \pm 15,0$					
MET KK	$2,4 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,7$	9,89	0,001	0,000	0,000	0,001
MET KS	$3,2 \pm 1,1$	$3,1 \pm 1,0$	$3,0 \pm 0,9$					
$SatO_2$ [%]KK	$97,8 \pm 1,0$	$98,0 \pm 1,2$	$98,2 \pm 1,1$	0,2	ns	ns	ns	ns
$SatO_2$ [%]KS	$97,8 \pm 1,1$	$97,5 \pm 1,3$	$97,7 \pm 1,2$					

DYSKUSJA

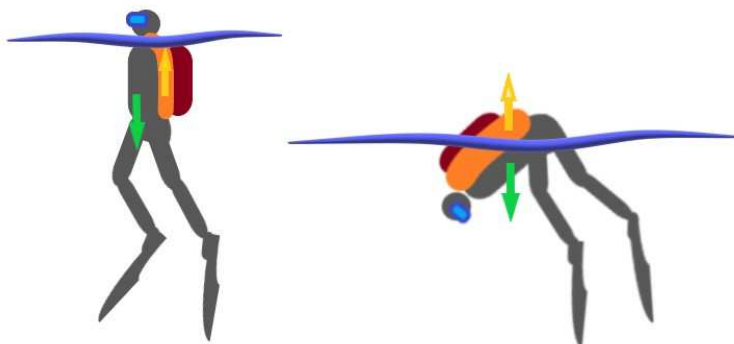
Uzyskane wyniki badań charakteryzujących obciążenie układu krążeniowo-oddechowego w odpowiedzi na długotrwałe utrzymanie pozycji pionowej na powierzchni wody potwierdzają zróżnicowanie funkcji ratunkowych stosowanych kamizelek ratunkowo-wypornościowych [1,6]. Do najbardziej istotnych obserwacji należy zwiększenie zapotrzebowania na tlen, przyspieszenie rytmu pracy i większe ryzyko obniżenia dostępności tlenu po trzydziestu minutach utrzymywania się na powierzchni wody w kamizelce typu „skrzydło” w porównaniu do kamizelki klasycznej.

Napełniona kamizelka klasyczna utrzymuje nie wykonującą żadnych ruchów osobę na powierzchni wody w ułożeniu skośnym na grzbiecie. Najwyżej położoną częścią ciała jest twarz, najniżej znajdują się stopy (Rys. 2).



Rys. 2 Działanie siły wyporu i siły ciężenia w kamizelce klasycznej.

Napełniona kamizelka typu „skrzydło” utrzymuje nie wykonującą żadnych ruchów osobę na powierzchni wody w pozycji kolankowo – łokciowej (na brzuchu). Najwyżej położoną częścią ciała jest okolica pośladkowa, najniżej znajdują się stopy. Twarz zawsze jest głęboko zanurzona (Rys. 3.)



Rys. 3 Działanie siły wyporu i siły ciężenia w kamizelce typu „skrzydło”.

W celu przeciwdziałania niekorzystnemu dla bezpieczeństwa nurka ułożeniu ciała konieczne jest włączenie pracy mięśni szkieletowych i aktywacja mechanizmów adaptacyjnych zwiększających transport tlenu do pracujących mięśni [7,8]. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że zastosowanie kamizelki wypornościowo-ratunkowej typu skrzydło (KS) wpływa na istotne zwiększenie rytmu pracy serca podczas utrzymania pozycji pionowej na powierzchni wody w porównaniu do wartości spoczynkowej a także w porównaniu do badania z zastosowaniem klasycznej kamizelki wypornościowej (KK). Wysiłek fizyczny związany z utrzymaniem pozycji pionowej w kamizelce typu skrzydło istotnie zwiększa wentylację minutową płuc, MET i pobór tlenu w porównaniu do wartości spoczynkowych a także w porównaniu do wyników w badaniu z zastosowaniem klasycznej kamizelki. Obniżenie wysycenia hemoglobiny tlenem jest istotnie niższe w 30 minucie próby w kamizelce typu skrzydło w porównaniu do wartości spoczynkowej.

Stosunkowo niewielki wzrost analizowanych wskaźników fizjologicznych w przeprowadzonym badaniu może wskazywać, że dla osoby przebywającej pod wodą podczas długotrwałego nurkowania, obciążenie fizjologiczne w sytuacji utrzymywania się na powierzchni wody będzie znacznie większe. Wyróżnia się cztery czynniki, które stanowią o wysokim obciążeniu fizjologicznym organizmu podczas przebywania pod wodą na wstrzymanym oddechu. Są to: wytwarzanie i gromadzenie się CO₂; narastający deficyt tlenowy; wpływ wysokiego ciśnienia na powierzchnię ciała, zwłaszcza na klatkę piersiową oraz powstawanie pęcherzyków azotu we krwi i tkankach podczas wynurzania się z wody [2,5,9].

Wyróżnia się kilka mechanizmów adaptacyjnych, które zwiększają rezerwy tlenu podczas nurkowania swobodnego i głębinowego oraz zabezpieczają nurków przed nagłą utratą przytomności. Oddychanie w warunkach obniżonej dostępności

tlenu wpływa na obniżenie ciśnienie parcjalne O_2 (pO_2) w płucach, krew jest co raz mniej natlenowana a saturacja (SpO_2) powoli się obniża. Odruchy z chemoreceptorów zmieniają dystrybucję krwi zabezpieczając przed hipoksją mózg i serce, co w pewnym zakresie kompensuje obniżone wysycenie krwi tlenem. Przedłużony bezdech wywołuje bradykardię serca, obniżenie przepływu mięśniowego krwi a pobudzenie mechanoreceptorów płuc w warunkach zwiększonego ciśnienia wewnątrzprężerzykowego i nadciśnienia w naczyniach płucnych uruchamia mechanizmy obronne, które zabezpieczają przed niedotlenieniem i kompresją płuc. Ponadto poprawa parametrów hemodynamicznych w układzie naczyniowym poprzez wazokonstrykcję naczyń krwionośnych, wykorzystanie rezerw krwi wysyczonej tlenem (tzw. odruch nurkowy) oraz zwolnienie metabolizmu są istotnymi mechanizmami adaptacji organizmu do długiego wstrzymania oddechu [5,10].

Zanurzenie ciała powoduje zmianę dynamiki powrotu żylnego w kierunku klatki piersiowej. Zwiększony przepływ w klatce piersiowej spowodowany jest zmniejszeniem przepływu krwi w żyłach obwodowych [11,12]. Zmiany ciśnienia i dostępności O_2 w układzie oddechowym oraz zwiększenie eliminacji CO_2 są przyczyną zmian w układzie sercowo naczyniowym. Następuje rozszerzenie lub zwężenie naczyń co prowadzi do zmiany oporu obwodowego co w konsekwencji do obniżenia lub podwyższenia BP [11,12]. U trenujących nurków zachodzą mechanizmy adaptacyjne, które chronią przed rozwijającą się podczas bezdechu hiperkapnią. Celem tych mechanizmów, jest zwiększenie dostępnych zasobów tlenu, spowolnienie przemian metabolicznych a tym samym wydłużenie czasu bezdechu [11].

Wyniki badań przeprowadzonych w warunkach eksperymentalnych (basen) niniejszej pracy potwierdzają możliwość wykorzystania wskaźników fizjologicznych do oceny funkcji ratunkowej urządzeń wypornościowo-ratunkowych u nurków.

WNIOSKI

Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Kamizelka typu "skrzydło" nie chroni nieprzytomnego nurka lub nurka, który nie może poruszać kończynami a w pozostałych przypadkach czas jej działania ochronnego jest ograniczony wydolnością fizyczną.
2. Kamizela klasyczna może chronić nieprzytomnego nurka przez dłuższy czas.
3. Wskazane są dalsze badania w warunkach bliższych rzeczywistości (falowanie, niska temperatura wody).

LITERATURA

1. Middleton JR. Evaluation of Commercially Available Buoyancy Compensators. Test Report. Navy Experimental Diving Unit Panama City Fl. 1980;1-80
2. Bosco G, Rizzato A, Moon RE, Camporesi EM. Environmental physiology and diving medicine. *Front Psychol*, 2018; 9: 72.
3. https://youtu.be/XX4nYoNaJ_g
4. Looney DP, Long ET, Potter AW, Xiaojiang X, Friedl KE, Hoyt RW, Chalmers CR, Buller MJ, Florian JP. Divers risk accelerated fatigue and core temperature rise during fully-immersed exercise in warmer water temperature extremes. *Temperature*, 2019; 6(2): 150-157, DOI: 10.1080/23328940.2019.1599182
5. Cheung SS, Ainslie PN. Diving and Hyperbaric Physiology. In *Advanced Environmental Exercise Physiology*. Champaign IL: Human Kinetics 2022; 109-126.
6. Rush T. Test and Evaluation of the Integrated Divers Vest. Test Report. Navy Experimental Diving Unit Panama City Fl. 1994; 11-94.
7. Bain A, Drvis I, Dujic Z, MacLeod D. Physiology of static breath holding in elite apneists. *Exp Physiol*. 2018; 103: 635-651.
8. Elia A, Wilson OJ, Lees M, Parker PJ, Barlow MJ, Cocks M, O'Hara JP. Skeletal muscle, haematological and splenic volume characteristics of elite breath-hold divers. *Eur J Appl Physiol*, 2019; 119: 2499–2511.
9. Marlinge M, Coulangue M, Fitzpatric R, Delacroix R, Gabarre A, Laine N, Cautela J, Louge P, Boussuges A, Rostain JC, Guieu R, Joulia FC. Physiological stress markers during breath-hold diving and SCUBA diving. *Physiol Rep*, 2019; 7(6): e14033.
10. Fernández F, González-Ravé JM, Juárez, D. Breath-hold diving performance factors. *J Hum Sport Ex*, 2017; 12(3): 582-592.
11. Kjeld T, Stride N, Gudiksen A, Hansen EG, Arendrup HC, Horstmann PF, Zerahn B, Jensen LT, Nordsborg N, Bejder J, Halling JF. Oxygen conserving mitochondrial adaptations in the skeletal muscles of breath hold divers. *PLoS One*. 2018; 13(9): 0201401. doi: 10.1371/journal.pone.0201401
12. Garbella E, Piarulli A, Fornai E, Pingitore A, Prediletto R. Preliminary observations on the effect of hypoxic and hyperbaric stress on pulmonary gas exchange in breath-hold divers. *Diving Hyperb Med*. 2011; 41(2): 97–100.

dr hab. med. Piotr Siermontowski, prof. AMW

Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademii Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia
p.siermontowski@amw.gdynia.pl

ORCID - 0000-0003-2557-3561