

Ryszard Kłos, Maciej Konarski

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

Kmdr por. dr med. Maciej Konarski
Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej
81-103 Gdynia 3, ul. kmdr J. Grudzińskiego 4
tel./fax: (0-58) 6262405
e-mail: mkonarski@op.pl

WYDOLNOŚĆ FIZYCZNA NURKÓW EKSPERYMENTALNYCH

W artykule zaprezentowano metody badań wstępnych nurków eksperymentalnych biorących udział w ustaleniu tabel dekompresyjnych dla aparatu CRABE w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2009 – 2011 jako projekt badawczy rozwojowy Nr O R00 0001 08, pt. „Projektowanie dekompresji w misjach bojowych”.

Słowa kluczowe: nurkowanie eksperymentalne, tabele dekompresyjne

PHYSICAL WORK CAPACITY OF EXPERIMENTAL DIVERS

The paper presents preliminary research methods in the process of examining experimental divers taking part in a project whose aim was to create decompression tables for the CRABE apparatus. This developmental research project no. O R00 0001 08, called “Decompression design in combat missions”, was carried out as part of a funded scientific work in the years 2009-2011.

Key words: experimental diving, decompression tables.

WSTĘP

Rzeczywistość stwarza nurkom coraz lepsze warunki do przebywania pod wodą, wpływa na zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa nurkowania, lecz warunkiem decydującym o bezpiecznym pobycie pod wodą jest odpowiednie przygotowanie do tego zadania samego człowieka. Oprócz właściwej kwalifikacji zdrowotnej, poznania i świadomości istnienia zagrożeń dla zdrowia, opanowania sprzętu i kanonów organizacyjnych oraz odpowiedniej techniki nurkowania również odpowiednie przygotowanie fizyczne i dbałość o utrzymanie należytej kondycji wpływa na bezpieczeństwo nurkowania. W wojsku, przygotowanie do wykonywania zadań pod wodą odbywa się na drodze ukierunkowanego treningu, dobranego do charakteru działalności, w jaką będzie w przyszłości zaangażowany nurek.

PULAP TLENOWY

Jednym z podstawowych wymogów, dotyczących kwalifikacji nurków eksperymentalnych jest ogólna *wydolność fizyczna*¹. Za kompleksowy wskaźnik, informujący o potencjale biologicznym nurka i możliwościach tolerowania przez niego obciążeń, może być uznany tzw. *pułap tlenowy*².

Powszechnie uznaje się, że tolerancja nurków na obciążenia dekompresyjne jest mniejsza u osobników o wyższej zawartości tkanki tłuszczowej, większej masie ciała³ i obniża się wraz z wiekiem⁴. Efekt ten wynika z faktu, że o szybkości desaturacji tkanek organizmu w dużej mierze może decydować ich perfuzja. Istnieje silna zależność pomiędzy niektórymi cechami organizmu⁵ a poziomem maksymalnego strumienia pochłanianego tlenu w przeliczeniu na kilogram masy ciała \dot{v}_{max} , który może być wskaźnikiem prawidłowego poziomu wytrenowania wpływającym na bezpieczeństwo nurkowania. *Pułap tlenowy* \dot{v}_{max} nie powinien być niższy od wartości⁶: $\dot{v}_{max} > 45 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Åstrand P.-O. and Rodahl K., 1977).

Tabela 1

Wskaźnik BMI a optymalna masa ciała	
Wyszczególnienie	BMI (kg/m^2)
	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$
niedowaga	< 20,1
optymalna masa ciała	20,1 – 25,0
nadwaga	25,1 – 30,0
otyłość	> 30,0

¹rozumiana tutaj, jako zdolność do wykonywania intensywnej i/lub długotrwałej pracy bez szybko narastającego zmęczenia, z wysoką tolerancją związanych z nią zaburzeń homeostazy organizmu i szybką ich kompensacją po zakończeniu wysiłku

²im więcej organizm może pobrać tlenu w stosunku do masy ciała, tym większą dysponuje wydolnością fizyczną i tym dłużej może znosić obciążenie pracą w warunkach równowagi czynnościowej, bez przeciążenia organizmu

³statystycznie, mężczyzna o masie ciała większej o 20% od uznanej za standardową ma o około 8% mniejszy pułap tlenowy od osobnika o standardowej masie ciała

⁴średni statystyczny mężczyzna w wieku 40 – 49 lat o masie ciała uznawanej za standardową, ma pułap tlenowy o około 16% niższy, aniżeli osobnik o takiej samej masie ciała w wieku 20 – 29 lat

⁵jak np. masa ciała i wiek

⁶średnia dla młodych mężczyzn o standardowej masie ciała

INTRODUCTION

The development of technology is creating better and better conditions for divers to stay underwater; it also increases the efficiency and safety of diving, but an appropriate diver preparation is still the decisive condition for a safe stay underwater. In addition to proper health condition, good knowledge and awareness of health risks and organizational canons, mastering the equipment and proper diving techniques, also suitable physical preparation and care to maintain proper physical condition affect the safety of diving. In the army, preparing to perform tasks underwater is done through targeted training, matching the nature of the activity in which the diver will be involved in the future.

VO₂ MAX

One of the basic requirements concerning the choice of experimental divers is their overall *physical work capacity*¹. *VO₂ max*² (also called maximal oxygen consumption, maximal oxygen uptake, peak oxygen uptake or aerobic capacity) can be considered the most comprehensive source of information about the biological potential and load tolerance possibilities of a diver.

It is commonly acknowledged that divers' tolerance to decompression load is lower in case of individuals with higher body fat and greater body mass³, and it also decreases with age⁷. This effect stems from the fact that the speed of body tissues' desaturation may be largely determined by their perfusion.

Table 1

BMI and optimal weight

Category	BMI (kg/m ²)
	[kg · m ⁻²]
Underweight	< 20,1
Normal	20,1 – 25,0
Overweight	25,1 – 30,0
Obese	> 30,0

There is a strong correlation between certain characteristics of an organism⁴ and the level of the maximum flow of oxygen absorbed per kilogram of body weight \dot{v}_{max} , which may indicate the proper fitness level affecting the safety of diving. *VO₂ max* \dot{v}_{max} should not be lower than the following value⁵:
 $\dot{v}_{max} > 45 \text{ cm}^3 \text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Åstrand P.-O. and Rodahl K., 1977).

¹ understood as the ability to perform intense or long-term work without fast-growing fatigue, with a high tolerance of homeostasis disturbance connected with it and fast compensation afterwards

² the more oxygen an organism can intake (compared to body weight), the higher the physical work capacity index is and the more workload in the conditions of functional equilibrium it can bear, without overexertion

³ statistically, a man weighing more than 20% than an established standard weight has the *VO₂ max* value lower by about 8% than a man of a standard body weight

⁷ the average man aged 40 – 49, with a standard body weight, has the *VO₂ max* value about 16% lower than a man with the same weight aged 20-29

⁴ such as body weight and age

⁵ average for young men with a standard body weight

WSKAŹNIK BMI

W celu określenia optymalnej masy ciała użyteczne jest obliczenie wskaźnika *BMI*⁷, wyrażającego masę ciała *m* osoby badanej w $[m] = kg$ w stosunku do kwadratu wzrostu l^2 wyrażonego w $[l] = m$. Przykładowo, osoba o masie $m = 75 kg$ i wzroście $l = 180 cm$ ma wskaźnik *BMI* na poziomie: $BMI = \frac{75}{1,80^2} \cong 23,1 kg \cdot m^{-2}$.

Przykładowe zakresy wartości wskaźnika *BMI* dla mężczyzn przedstawiono w tab.1.

W próbie wydolnościowej podczas wysiłku submaksymalnego⁸ osobnik sprawny będzie miał wolniejsze tętno aniżeli osobnik o mniejszej wydolności fizycznej, co jest odpowiednikiem lepszego poboru tlenu. Natomiast podczas wysiłku maksymalnego osiągnie on wyższy poziom wykonanej pracy, wyższe tętno i znacznie większy pobór tlenu.

WYDOLNOŚĆ

Pojęcie wydolności fizycznej oznacza zdolność do ciężkich lub długotrwałych wysiłków fizycznych, wykonywanych z udziałem dużych grup mięśniowych, bez szybko narastającego zmęczenia i towarzyszących temu zmianom w organizmie⁹. Termin ten obejmuje również tolerancję zmian zmęczeniowych i zdolność do szybkiej regeneracji po zakończeniu pracy (Kozłowski S. i Nazar K., 1984).

Rzeczywistą miarą wydolności fizycznej jest czas wykonywania wysiłków¹⁰ o określonej, stałej lub wzrastającej intensywności do całkowitego wyczerpania. W praktyce poszukuje się uniwersalnych wskaźników wydolności, które na podstawie testów laboratoryjnych¹¹ umożliwiłyby przewidywanie wielkości zaburzeń homeostazy i szybkości narastania zmęczenia podczas wysiłków o różnych obciążeniach. Najlepszym ze znanych tego rodzaju wskaźników jest zdolność pochłaniania tlenu przez organizm – *pułap tlenowy*¹² \dot{V}_{max} .

Ilość tlenu, jaką organizm może pochłonąć w czasie maksymalnego wysiłku, stanowi sumaryczny wskaźnik sprawności funkcji zaopatrzenia tlenowego i jego zużycia w tkankach. Zużycie tlenu zależy od masy tkanek aktywnych metabolicznie⁸ i zdolności wykorzystywania przez nie procesów aerobowych, jako źródła energii. Najczęściej wartość maksymalnej konsumpcji tlenu \dot{V}_{max} standaryzuje się odnosząc ją do masy ciała⁹.

Wartości maksymalnego pochłaniania tlenu \dot{V}_{max} u mężczyzn w różnym wieku i o różnej wydolności fizycznej przedstawiono w tab.2.

Test wydolności fizycznej powinien spełniać następujące warunki:

- powinien w znacznym stopniu obciążać układ oddechowy i krążenia poprzez zaangażowanie do pracy dużych grup mięśniowych;
- nie powinien wymagać od poddawanego badaniu specjalnej wprawy, warunkującej bezbłędne jego wykonanie;

⁷ body mass index

⁸ przy porównywalnym obciążeniu

⁹ homeostazie

¹⁰ takich jak bieg, jazda na rowerze, wysiłek na cykloergometrze, pływanie itp.

¹¹ możliwie prostych i niewymagających stosowania bardzo ciężkich lub długotrwałych wysiłków

¹² zwany też wydolnością aerobową organizmu

⁸ przede wszystkim masy mięśni szkieletowych

⁹ tak wyrażony *pułap tlenowy* jest wskaźnikiem zdolności dostarczania tlenu do tkanek i zdolności tych tkanek do wykorzystywania tlenu w procesach metabolicznych, nazywany także *pojemnością tlenową*

BODY MASS INDEX

Body Mass Index is a useful tool, helping to determine the optimal body weight. It is defined as the individual's body weight $[m] = kg$ divided by the square of his or her height l^2 represented by $[l] = m$. For example, a person of weight $m = 75 kg$ and height $l = 180 cm$ has a BMI 23,1: $BMI = \frac{75}{1,80^2} \cong 23,1 kg \cdot m^{-2}$. Model BMI ranges for men are presented in Table 1.

In a function test, during a submaximal exercise⁶, a fit individual will have a slower heart rate than an individual with a lower physical work capacity, which is equivalent to a better oxygen uptake. However, during a maximal exercise, he will reach a higher level of performed work, higher heart rate and significantly greater oxygen uptake.

PHYSICAL WORK CAPACITY

The concept of physical work capacity refers to the ability to perform heavy or long-term physical work, using with large muscle groups, without fast-growing fatigue and accompanying changes in the organism⁷. This term also refers to the tolerance of fatigue changes and the ability to regenerate quickly after work (Kozłowski S. i Nazar K., 1984).

The real indicator of physical work capacity is the period of time during which a person does exercises with a specific, constant or increasing intensity up to total exhaustion. Universal physical work capacity indicators, which, on the basis of laboratory tests, would enable the prediction of the size of homeostasis disorders and the rate of fatigue rise during multiple-load exercises are being looked for. The best such an indicator known nowadays is the ability to uptake oxygen by the body – $VO_2 max$ ⁸ \dot{V}_{max} .

The amount of oxygen that the body can uptake during the time of maximal exercise is an indicator of the efficiency of the oxygen supply function and its use in the tissues. Oxygen consumption depends on the weight of metabolically active tissues⁹ and their capacity to use aerobic processes as sources of energy. The maximum oxygen consumption value \dot{V}_{max} is mostly standardized with reference to the body weight¹⁰.

The values of maximum oxygen consumption \dot{V}_{max} of men of all ages and of different physical work capacity is presented in Table 2.

Physical work capacity test should meet the following conditions:

- it should significantly load the respiratory and circulatory systems through the involvement of large muscle groups;
- it should not require from the examined person special skills conditioning flawless performance.

⁶ with a comparable load

⁷ in the homeostasis

⁸ also called aerobic capacity

⁹ mostly the weight of skeletal muscles

¹⁰ $VO_2 max$ expressed in such a way is an indicator of the ability to deliver oxygen to the tissues and the ability of these tissues to use oxygen in metabolic processes, also known as aerobic capacity

- obciążenie pracą musi być ściśle określone, powtarzalne i proste do utrzymania równomiernego lub wzrastającego wysiłku podczas całego testu.

Tabela 2

Wartości maksymalnego pochłaniania tlenu \dot{v}_{max} u mężczyzn w różnym wieku i o różnej wydolności fizycznej

Wiek [lata]	Pułap tlenowy \dot{v}_{max} dla grup wydolności [cm ³ O ₂ · kg ⁻¹ · min ⁻¹]				
	b. niska	niska	przeciętna	wysoka	b. wysoka
20 – 29	≤ 38	39 – 43	44 – 51	52 – 56	≥ 57
30 – 39	≤ 34	35 – 39	40 – 47	48 – 51	≥ 52
40 – 49	≤ 30	31 – 35	36 – 43	44 – 47	≥ 48

Najczęściej przyjmuje się, że obciążenie podczas typowych testów nie powinno powodować przekroczenia następujących wartości tętna¹⁵:

- dla wieku **20 – 29 lat**: górna granica częstości tętna **170 min⁻¹**
- dla wieku **30 – 39 lat**: górna granica częstości tętna **160 min⁻¹**

ZUŻYCIE TLENU W FUNKCJI OBCIĄŻENIA

U zdrowego człowieka zależność maksymalnego zużycia tlenu \dot{v}_{max} od obciążenia wykonywaną pracą jest funkcją liniową z wyjątkiem pracy submaksymalnej¹⁶ (Wasserman K., 1982). Otyli zużywają więcej tlenu przy takim samym obciążeniu niż szczupli, gdyż część wydatkowanego wysiłku tracona jest na poruszanie nieużytecznej masy stanowiącej jedynie balast z punktu widzenia wykonywanego wysiłku.

Maksymalne zużycie tlenu \dot{v}_{max} będące najważniejszą miarą punktową wydolności fizycznej można ustalić podczas wysiłku o narastającym obciążeniu, prowadzącym do całkowitego wyczerpania. Wartości prawidłowe dla pułapu tlenowego \dot{v}_{max} są funkcją wieku, płci i stopnia wydolności fizycznej – tab.2.

Jak to zostało wspomniane wcześniej, maksymalne zużycie tlenu \dot{v}_{max} można zmierzyć z dobrą dokładnością na podstawie pomiarów częstości skurczów serca w czasie testowych wysiłków submaksymalnych¹⁷.

PWC₁₇₀ jest to obciążenie¹⁸, przy którym częstość skurczów serca stabilizuje się na poziomie **170 min⁻¹**. U ludzi o niskiej wydolności równowaga czynnościowa podczas testu może być utrzymywana tylko przez krótki okres, na ogół nieprzekraczający kilku minut. Wielkość **PWC₁₇₀** odpowiada ok. **80%** obciążenia maksymalnego, a co za tym idzie **80%** maksymalnego zużycia tlenu: **0,8 · \dot{v}_{max}** .

¹⁵ zalecenia te nie dotyczą ludzi uprawiających sport wyczynowo

¹⁶ sportowcy, cechujący się lepszym wykorzystaniem tlenu w mięśniach, dlatego zależności te są dla nich inne niż dla zdrowych, lecz prowadzący siedzący tryb życia osób

¹⁷ np. testu **PWC₁₇₀**

¹⁸ moc

Table 2

The values of maximum oxygen consumption \dot{v}_{max} of men of different ages and of different physical work capacity

Age	VO ₂ max \dot{v}_{max} for work capacity groups				
	[cm ³ O ₂ · kg ⁻¹ · min ⁻¹]				
[years]	very low	low	average	high	very high
20 – 29	≤ 38	39 – 43	44 – 51	52 – 56	≥ 57
30 – 39	≤ 34	35 – 39	40 – 47	48 – 51	≥ 52
40 – 49	≤ 30	31 – 35	36 – 43	44 – 47	≥ 48

workload must be clearly defined, repeatable and easy to maintain even or increasing effort during the entire test

It is frequently assumed that the load during typical tests should not cause the heart rate to exceed the following values¹¹:

- age 20-29: the upper limit of pulse rate **170 min⁻¹**
- age 30-39: the upper limit of pulse rate **160 min⁻¹**

OXYGEN CONSUMPTION AND LOAD

In a healthy man, the relation between the maximum oxygen consumption \dot{v}_{max} and workload is a linear function with the exception of submaximal work¹² (Wasserman K., 1982). Obese people consume more oxygen than slim people with the same load, as part the effort is wasted on moving useless mass, being only a ballast from the viewpoint of the performed effort.

The maximum oxygen consumption \dot{v}_{max} , which is the most important indicator of physical work capacity, can be determined during exercise with increasing load, leading up to total exhaustion. Normal values for VO₂ max \dot{v}_{max} is a function of age, gender and level of physical work capacity – Table 2.

As it was mentioned before, the maximum oxygen consumption \dot{v}_{max} can be measured accurately on the basis of systolic heart rate measurements during submaximal test exercises¹³.

PWC₁₇₀ is the load¹⁴ at which the systolic heart rate is stabilized at **170 min⁻¹**. Among people with low physical work capacity, the functional equilibrium during a test can be maintained only for a short period of time, usually no more than a few minutes. The level of **PWC₁₇₀** corresponds to approximately 80% of maximum load, and thus 80% of maximum oxygen consumption: **0,8 · \dot{v}_{max}** .

¹¹these recommendations do not apply to competitive sportsperson

¹² sportspeople are characterized by a better use of oxygen in their muscles and, thus, such relations in their case differ from the ones of healthy people leading a sedentary lifestyle

¹³e.g. **PWC₁₇₀ test**

¹⁴power

METODA

TEST PWC₁₇₀

Dostępnym i prostym testem laboratoryjnym do oceny wytrzymałości krążeniowo–oddechowej jest próba wydolności fizycznej na ergometrze rowerowym **PWC₁₇₀**. Próba ta jest powszechnie stosowana i przeszła wszechstronną weryfikację z użyciem surowych kryteriów. Cechą testu jest jego obiektywność, osiągnięta przez wieloletnie obserwacje odpowiedzi fizjologicznej na określony poziom pracy fizycznej. Badania takie są istotne jako test przesiewowy do oceny sprawności zdrowotnej (Åstrand P.-O. and Rodahl K., 1977).

Podczas wykonywania pracy na cykloergometrze, badany musi pedałowac w sposób ciągły nie dłużej niż **9 min**, podczas których obciążenie pracą wzrasta w trzeciej i szóstej minucie, co łącznie daje trzy rodzaje obciążeń. Częstość skurczów serca jest mierzona podczas ostatnich **15 s** każdego poziomu obciążenia, a jego narastanie jest tak regulowane, aby częstość skurczów serca przy końcu testu osiągnęła w przybliżeniu **170 min⁻¹**. Określenie obciążenia odpowiadającego częstości skurczów serca **170 min⁻¹** otrzymuje się przez ekstrapolację. Ponieważ masa ciała wpływa na efektywność pedałowania, jak również na powiązanie tej cechy z wytrzymałością krążeniowo–oddechową, ocena jest znacznie dokładniejsza, jeżeli wynik wyrażony jest w przeliczeniu na masę **m** badanego (Birch K., MacLaren D., George K., 2009; Wasserman K., 1982).

Aby zapewnić wiarygodność i powtarzalność wyników testu, musi być zachowana stała procedura badań. Pamiętać należy, że:

- testu nie powinien poprzedzać obfity posiłek – musi być zachowany, co najmniej **1 godz** odstęp¹⁹;
- zbyt niska lub zbyt wysoka temperatura powietrza w pracowni wywiera niekorzystny wpływ na wysiłkową częstość skurczów serca – temperatura powinna wynosić od **18°C** do **22°C**;
- należy unikać męczących ćwiczeń w dniu wykonywania testu;
- pomieszczenie, w którym wykonuje się test powinno być izolowane od zakłóceń zewnętrznych²⁰;
- osoby przeziębione lub skarżące się na inne dolegliwości powinny być badane w innym terminie;
- osoby poddawane testowi powinny przybyć do gabinetu badań przebrane w stroje sportowe przynajmniej **10 min** przed rozpoczęciem testu.

Na wyposażenie, niezbędne do przeprowadzenia testu, składa się:

- cykloergometr, który powinien być: mechanicznie hamowany²¹, wyposażony w licznik obrotów, regulowany do wzrostu osoby badanej;
- stoper;
- słuchawki lekarskie lub ewentualnie inny przyrząd do badania częstości skurczów serca²²;
- zegar;
- waga lekarska.

¹⁹ jeśli kandydaci mają być badani rano, ważne jest, aby zjedli śniadanie zawierające węglowodany

²⁰ hałas, osoby przeszkadzające, oglądające itd.

²¹ ważne jest dokładne skalibrowanie i dopasowanie oporów

²² np. kardiomonitor

METHOD

PWC₁₇₀ TEST

PWC₁₇₀ test uses a cycle ergometer is an accessible and simple laboratory test used to assess the cardiopulmonary endurance. The test is widely used and has passed a comprehensive verification using strict criteria. One of the features of the test is its objectivity, achieved through many years of observing physiological responses to a certain level of physical labour. Such examinations serve as important screening tests to evaluate healthy physical fitness (Åstrand P.-O. and Rodahl K., 1977).

During the work on a cycle ergometer, the examined person must pedal continuously for no longer than **9 min**, during which the workload is increased in the third and sixth minute, for a total of three kinds of loads. The heart rate is measured during the last **15 s** of each load level, and its accumulation is regulated so that the heart rate at the end of the test reaches approximately **170 min⁻¹**. The amount of load corresponding to the heart rate **170 min⁻¹** is obtained by extrapolation. Because the body weight affects the efficiency of pedalling as well as linking this feature to the cardiopulmonary endurance, the assessment is much more accurate if the result takes into account the mass **m** of the examined person (Birch K., MacLaren D., George K., 2009; Wasserman K., 1982).

To ensure reliability and reproducibility of test results, a fixed procedure must be kept. It should be remembered that:

- the test should not be preceded by a generous meal, at least 1 hour interval must be kept;
- too low or too high temperature in the studio has a negative effect on exercise heart rate – the temperature should be between 18 °C and 22 °C;
- strenuous exercise on the day of the test should be avoided;
- the room where the test is performed should be insulated from external disturbances¹⁵;
- those who have a cold or other symptoms should be examined on another day;
- people subjected to the test should arrive dressed in sportswear at least 10 minutes prior to the test;

The equipment needed for the test consists of:

- cycle ergometer, which should have a mechanical brake¹⁶, be equipped with a revolution counter, and be adjustable to the examined person's height,
- stopwatch,
- stethoscope or possibly another instrument to study the frequency of systolic heart rate,¹⁷
- clock,
- medical scales.

¹⁵ noise, intruders, onlookers, etc.

¹⁶it is important to accurately calibrate and adjust the resistance

¹⁷e.g. heart rate monitor

Tabela 3

Przeliczenia czasu trwania 15 uderzeń serca na *HR*

czas 15 uderzeń	<i>HR</i>	czas 15 uderzeń	<i>HR</i>	czas 15 uderzeń	<i>HR</i>
[s]	[min^{-1}]	[s]	[min^{-1}]	[s]	[min^{-1}]
15,0	60	8,5	106	5,5	164
14,5	62	8,0	113	5,4	167
14,0	64	7,5	120	5,3	170
13,5	67	7,0	128	5,2	174
13,0	69	6,8	132	5,1	178
12,5	72	6,6	136	5,0	180
12,0	75	6,4	141	4,9	184
11,5	78	6,2	145	4,8	188
11,0	82	6,0	150	4,7	191
10,5	86	5,9	153	4,6	196
10,0	90	5,8	155	4,5	200
9,5	95	5,7	158	4,4	205
9,0	100	5,6	161	4,3	209

WARUNKI PRZEPROWADZENIA TESTU

- a) Ze względu na niskie koszty i stosunkowo wysoką dokładność pomiary częstości skurczów serca można wykonać przy użyciu stetoskopu i stopera mierząc czas trwania 15 przerw pomiędzy skurczami serca²³. Częstość skurczów serca może być rejestrowana przez pomiar czasu 15 uderzeń za pomocą obserwacji elektrokardiogramu lub innego urządzenia wykonującego ten pomiar²⁴. Częstość skurczów serca na minutę *HR* oblicza się według formuły: $HR = \frac{900}{\text{czas 15 uderzeń [s]}}$, lub wykorzystując tab.3
- b) Częstość pedałowania γ należy utrzymywać na poziomie¹⁸ $\gamma \cong 60 \text{ min}^{-1}$
- c) Obciążenie początkowe *W* powinno być ustalone na poziomie $W = 2W \cdot \text{kg}^{-1}$ ²⁵
- d) Zwiększanie obciążenia jest wykonywane po pomiarze częstości skurczów serca *HR* na końcu każdego cyklu obciążenia poprzez dodanie ciężarka do kołyski cykloergometru, lub inną regulację w systemie obciążeń. Dalsze zwiększenie obciążenia²⁶ umożliwiające odpowiedni wzrost pracy zależne jest od dobranego obciążenia początkowego. Następujące wzrosty obciążenia powinny powodować przyrost akcji serca *HR* w przedziale od ok. $HR \in [90; 120] \text{ min}^{-1}$ przy końcu pierwszego okresu do nieco poniżej $HR \leq 170 \text{ min}^{-1}$ przy końcu okresu ostatniego. W ustaleniu wzrostu obciążenia może być pomocna tab.4.

²³ z 16 uderzeń serca; najlepiej policzyć pierwsze uderzenie, jako 0, równocześnie uruchamiając stoper, a następnie liczyć kolejne uderzenia, jako jeden, dwa, trzy itd., zatrzymując stoper przy liczbie 15

²⁴ niektóre cykloergometry posiadają w pamięci procedurę ułatwiającą pomiary, lecz zalecane jest sprawdzenie jej przed wykorzystaniem

¹⁸ dopuszcza się wartości częstości pedałowania w zakresie $\gamma \in [60; 80] \text{ min}^{-1}$

²⁵ czasami powoduje to za duże wstępne obciążenie, szczególnie u osób z nadwagą

²⁶ ustalane zgodnie z reakcją częstości skurczów serca *HR*

Table 3

The relation between the duration of 15 heartbeats and *HR*

duration of 15 heartbeats	<i>HR</i>	duration of 15 heartbeats	<i>HR</i>	duration of 15 heartbeats	<i>HR</i>
[s]	[min^{-1}]	[s]	[min^{-1}]	[s]	[min^{-1}]
15,0	60	8,5	106	5,5	164
14,5	62	8,0	113	5,4	167
14,0	64	7,5	120	5,3	170
13,5	67	7,0	128	5,2	174
13,0	69	6,8	132	5,1	178
12,5	72	6,6	136	5,0	180
12,0	75	6,4	141	4,9	184
11,5	78	6,2	145	4,8	188
11,0	82	6,0	150	4,7	191
10,5	86	5,9	153	4,6	196
10,0	90	5,8	155	4,5	200
9,5	95	5,7	158	4,4	205
9,0	100	5,6	161	4,3	209

TEST CONDITIONS

- a) Due to low costs and a relatively high accuracy, the heart rate can be measured using a stethoscope and a chronograph, measuring the duration of 15 intervals between heart systoles¹⁹. The heart rate can be recorded by measuring the time of 15 heartbeats by means of an electrocardiogram or another device performing this measurement²⁰. Heart rate per minute, *HR*, is calculated using the following formula: $HR = \frac{900}{\text{duration of 15 heartbeats [s]}}$ or using Table 3.
- b) Pedalling frequency γ should be maintained at the following level²¹: $\gamma \cong 60 \text{ min}^{-1}$
- c) The initial load *W* should be set at the following level: $W = 2 W \cdot \text{kg}^{-1}$
- d) The load is increased after measuring the heart rate *HR* at the end of each load cycle by adding a weight to the cradle of the cycle ergometer, or using another load control system. Further load increase²², enabling a corresponding work increase, is dependent on the initial load chosen. The following load increases should result in an increased heart rate *HR* in the range from about $HR \in [90; 120] \text{ min}^{-1}$ at the end of the first cycle to just under $HR \leq 170 \text{ min}^{-1}$ at the end of the last one. Table 4 may be helpful in determining the load increase.

¹⁹from 16 heartbeats; it is the best to count the first beat as 0, and start the stopwatch simultaneously, and then count the next heartbeat as one, two, three, etc., stopping the timer with the number 15

²⁰some cycle ergometers have in their memory a procedure facilitating the measurement, but it is recommended to check it before using

²¹the following pedalling frequency values are acceptable: $\gamma \in [60; 80] \text{ min}^{-1}$

²²determined in accordance with the reaction of heart rate *HR*

SPOSÓB REALIZACJI TESTU

- Waży się badanego z dokładnością do **0,1 kg**,
- W czasie oczekiwania na rozpoczęcie próby, badany siada na cykloergometrze i ustala wysokość siodełka i kierownicy dopasowując tak, aby kolano nogi spoczywającej na pedale w pozycji dolnej było lekko zgięte,
- Wysokość kierownicy powinna pozwalać lekko pochylić tułów w przód przy wyprostowanych ramionach,
- Badający wyszukuje najlepsze miejsce do przyłożenia stetoskopu lub przygotowuje inny sposób pomiaru akcji serca,
- Badany odbywa krótką próbę pedałowania przy założonej częstotliwości $H \cong 60 \text{ min}^{-1}$ a badający sprawdza, czy słyszy akcję serca podczas tego ćwiczenia,
- Na sygnał START badany zaczyna łagodnie pedałować, stopniowo dochodząc do szybkości $H \cong 60 \text{ min}^{-1}$,

Tabela 4

Wzrost obciążenia w funkcji częstości skurczów serca HR

Dla drugiego cyklu		Dla trzeciego cyklu	
HR	Zwiększenie obciążenia	HR	Zwiększenie obciążenia
$[\text{min}^{-1}]$	[%]	$[\text{min}^{-1}]$	[%]
< 100	70	< 130	70
100 - 110	60	130 - 140	50
111 - 120	50	141 - 150	30
121 - 130	40	151 - 165	10
131 - 140	30		
141 - 150	20		
>151	10		

Jeżeli częstość skurczów serca HR po pierwszym okresie przekracza $HR > 155 \text{ min}^{-1}$, lub po drugim okresie obciążenia przekracza $HR > 165 \text{ min}^{-1}$, to test powinien być przerwany, odłożony i powtórzony innego dnia z mniejszym obciążeniem początkowym

- Gdy obciążenie jest ustalone i badany osiągnie żądany rytm²⁷ włączany jest zegar,
- W trakcie próby częstość skurczów serca liczona jest podczas ostatnich **15 s** każdego obciążenia,
- Po zakończeniu testu zalecane jest zmniejszenie obciążenia do poziomu początkowego i zezwolenie badanemu na pedałowanie przez jeszcze ok. **30 s** dla wyrównania akcji serca w dół przed zatrzymaniem.

²⁷ zazwyczaj po **10 – 15 s**

CONDUCTING THE TEST

- the subject is weighed with an accuracy of 0.1 k,
- while waiting for the start of the trial, the subjects sits on the cycle ergometer and adjusts the level of the saddle and the handlebars so that the knee of the leg resting on the pedal is slightly bent,
- the level of the handlebars should allow the subject to tilt the torso slightly forward, with his arms outstretched,
- the examiner looks for the best to place the stethoscope, or prepares another way of measuring the heart rate,
- the subject performs a short trial at the following rate of pedalling $H \cong 60 \text{ min}^{-1}$, and the examiner checks if he can hear the heartbeat during this exercise,
- at the START signal, the subject begins to pedal gently, gradually reaching the speed of $H \cong 60 \text{ min}^{-1}$,

Table 4

The level of load increase dependent on HR

For second cycle		For third cycle	
HR	Load increase	HR	Load increase
$[\text{min}^{-1}]$	[%]	$[\text{min}^{-1}]$	[%]
< 100	70	< 130	70
100 - 110	60	130 - 140	50
111 - 120	50	141 - 150	30
121 - 130	40	151 - 165	10
131 - 140	30		
141 - 150	20		
>151	10		

If the heart rate HR after the first cycle exceeds $HR > 155 \text{ min}^{-1}$, or after the second cycle the load exceeds $HR > 165 \text{ min}^{-1}$, the test should be interrupted, delayed and repeated on another day with a smaller initial load

- when the load is determined and the subject has reach the desired rhythm²³, the clock is turned on,
- during the test, the heart rate is calculated during the last **15 s** of each load,
- when the test is over, it is recommended to reduce the load to the initial level and allowing the subject to the pedal for approx **30 s** to even out the heart rate before a complete stop.

²³ usually after **10 – 15 s**

WSKAŹNIK PWC_{170}

Wartość współczynnika $\frac{PWC_{170}}{m}$ wyrażona w $[\frac{PWC_{170}}{m}] = W \cdot kg^{-1}$ jest obliczana z częstości skurczów serca HR w obciążeniach drugim i trzecim:

$$\frac{PWC_{170}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{W_3 - W_2}{HR_3 - HR_2} \cdot 170 - HR_3 + W_3 \right) \quad (1)$$

gdzie: PWC_{170} – możliwe wydatkowanie pracy na kilogram masy ciała przy tętnie $HR = 170 \text{ min}^{-1}$ [$W \cdot kg^{-1}$], m – masa ciała [kg], HR_2 – częstość skurczów serca przy drugim obciążeniu [min^{-1}], HR_3 – częstość skurczów serca przy trzecim obciążeniu [min^{-1}], W_2 – obciążenie w wysiłku drugim [W], W_3 – obciążenie w wysiłku trzecim [W].

Osobnicy o wysokiej wydolności fizycznej powinni osiągnąć wynik $PWC_{170} > 3 W \cdot kg^{-1}$. Zależność wydolności fizycznej, wyrażonej jako osiągnięta wielkość obciążenia pracą w zależności od wieku badanego oraz jego masy ciała przedstawiono w tab.5.

Tabela 5

Wydolność fizyczna w zależności od obciążenia pracą, masy ciała i wieku

Wydolność fizyczna [W]	Masa ciała [kg]	Wiek [lat]		
		20 – 29	30 – 39	40 – 49
Wysoka	< 65	> 267	> 253	> 239
	65 – 85	> 275	> 261	> 246
	> 85	> 283	> 268	> 253
Przeciętna	< 65	178 – 267	169 – 253	160 – 239
	65 – 85	183 – 275	174 – 261	164 – 246
	> 85	188 – 283	179 – 268	169 – 253

PWC₁₇₀ INDEX

The value of $\frac{PWC_{170}}{m}$ formulated as $[\frac{PWC_{170}}{m}] = W \cdot kg^{-1}$ is calculated from *HR* in the second and third load:

$$\frac{PWC_{170}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{W_3 - W_2}{HR_3 - HR_2} \cdot 170 - HR_3 + W_3 \right) \quad (1)$$

where: *PWC₁₇₀* –possible work expenditure per kilogram of body weight at the following heart rate $HR = 170 \text{ min}^{-1}$ [$W \cdot kg^{-1}$], *m* –body weight [kg], *HR₂* – heart rate at the second load [min^{-1}], *HR₃* – heart rate at the third load [min^{-1}], *W₂* –load in the second cycle [W], *W₃* –load in the third cycle [W]

Subjects with high physical work capacity should reach the result $PWC_{170} > 3 W \cdot kg^{-1}$. Table 5 presents the relation between physical work capacity (expressed as the amount of workload achieved), age and body weight.

Table 5

Physical work capacity dependent on workload, body weight and age

PWC	Body weight	Age		
		[years]		
[W]	[kg]	20 – 29	30 – 39	40 – 49
High	< 65	> 267	> 253	> 239
	65 – 85	> 275	> 261	> 246
	> 85	> 283	> 268	> 253
Average	< 65	178 – 267	169 – 253	160 – 239
	65 – 85	183 – 275	174 – 261	164 – 246
	> 85	188 – 283	179 – 268	169 – 253

Wzór karty testu PWC₁₇₀

Test PWC₁₇₀

(Warunki testu: obciążenie początkowe = 2W/kg masy ciała, szybkość pedałowania 60 obr./min, czas pedałowania = 9 min, maksymalne tętno w 9' testu = 170/min, „wyrównanie w dół” po teście przez 30’)

Numer badania Data badania Nr książki nurka

Nazwisko Imię Stopień

Data urodzenia JW Kwalifikacje nurkowe

	Wzrost (cm)		
	Masa ciała (kg)	<i>m</i>	
0'00"	Obciążenie początkowe [<i>W</i>]	<i>W₁</i>	
2'45" do	czas 15 skurczów serca [<i>s</i>]	<i>TB₁</i>	
3'00"	częstość skurczów serca [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₁</i>	
3'00"	Obciążenie drugie [<i>W</i>]	<i>W₂</i>	
5'45" do	czas 15 skurczów serca [<i>s</i>]	<i>TB₂</i>	
6'00"	częstość skurczów serca [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₂</i>	
6'00"	Obciążenie trzecie [<i>W</i>]	<i>W₃</i>	
8'45" do	czas 15 skurczów serca [<i>s</i>]	<i>TB₃</i>	
9'00"	częstość skurczów serca [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₃</i>	

$$\frac{PWC_{170}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{W_3 - W_2}{HR_3 - HR_2} \cdot 170 - HR_3 + W_3 \right) = \dots \dots \dots W \cdot kg^{-1}$$

Spostrzeżenia dotyczące przebiegu testu i kondycji badanego:

Table 6

PWC₁₇₀ test template

Test PWC₁₇₀

(Test conditions: initial load = 2W/kg of body weight, pedalling speed 60 rpm, pedalling time = 9 min, max pulse in 9' of the test = 170/min, evening the pulse out after the test for 30'')

Test no..... Date..... Diver book no

Last name First name Rank

Date of birth Army unit Diving qualifications

		Height (cm)		<input type="text"/>
		Weight (kg)	<i>m</i>	<input type="text"/>
0'00"		Initial load [<i>W</i>]	<i>W₁</i>	<input type="text"/>
2'45"	do	Duration of 15 heartbeats [<i>s</i>]	<i>TB₁</i>	<input type="text"/>
3'00"		Heart rate [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₁</i>	<input type="text"/>
3'00"		Second load [<i>W</i>]	<i>W₂</i>	<input type="text"/>
5'45"	do	Duration of 15 heartbeats [<i>s</i>]	<i>TB₂</i>	<input type="text"/>
6'00"		Heart rate [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₂</i>	<input type="text"/>
6'00"		Third load [<i>W</i>]	<i>W₃</i>	<input type="text"/>
8'45"	do	Duration of 15 heartbeats [<i>s</i>]	<i>TB₃</i>	<input type="text"/>
9'00"		Heart rate [<i>min⁻¹</i>]	<i>HR₃</i>	<input type="text"/>

$$\frac{PWC_{170}}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{W_3 - W_2}{HR_3 - HR_2} \cdot 170 - HR_3 + W_3 \right) = \dots \dots \dots W \cdot kg^{-1}$$

Comments on the course of the test and the condition of the subject:

Wzór karty uproszczonego testu PWC_{170}

Uproszczony test PWC_{170}

Numer badania Data badania Nr książki nurka.....

Nazwisko Imię Stopień

Data urodzenia JW Kwalifikacje nurkowe

Wzrost Masa

Czas	Czynność	Symbol	Wartość
0'00"	Obciążenie początkowe [W]	W_1	<input type="text"/>
3'00"	częstość skurczów serca [min^{-1}]	HR_1	<input type="text"/>
3'00"	Obciążenie drugie [W]	W_2	<input type="text"/>
6'00"	częstość skurczów serca [min^{-1}]	HR_2	<input type="text"/>
6'00"	Wartość PWC_{170} [W]	PWC_{170}	<input type="text"/>

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \frac{170 - HR_1}{HR_1 - HR_2}$$

$$[PWC_{170}] = W$$

$$[W] = W$$

$$[m] = kg$$

Table 7

Simplified **PWC₁₇₀** test template

Simplified PWC₁₇₀ test

Test no Date..... Diver book no.....

Last name First name Rank

Date of birth Army unit Diving qualifications

Height Weight

Time	Activity	Symbol	Value
0'00"	Initial load [W]	W_1	<input type="text"/>
3'00"	Heart rate [min^{-1}]	HR_1	<input type="text"/>
3'00"	Second load [W]	W_2	<input type="text"/>
6'00"	Heart rate [min^{-1}]	HR_2	<input type="text"/>
6'00"	PWC₁₇₀ value [W]	PWC₁₇₀	<input type="text"/>

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \frac{170 - HR_1}{HR_1 - HR_2}$$

$$[PWC_{170}] = W$$

$$[W] = W$$

$$[m] = kg$$

PROCEDURA UPROSZCZONA

W *AMW* jeden z cykloergometrów typ *ERM – 100* posiada specjalną funkcję pomiaru wskaźników *PWC₁₇₀*, *PWC₁₅₀* i *PWC₉₀*. Ze względu na zasilanie z sieci *230 V~* jest on wykorzystywany tylko do pomiarów normobarycznych, służących do monitorowania wytrenowania nurków.

Do wyznaczenia parametru *PWC₁₇₀* potrzebne są jedynie dwa stopnie wysiłku, zmieniane w odstępie *3 min* za pomocą przycisku START. Badania mogą być wykonywane samodzielnie przy obowiązkowej asyście kolegów. Do przeprowadzenia badania wykorzystywany jest program *6 – ty*, badany mocuje na płatku usznym czujnik miernika tętna i czeka aż aparat zacznie prawidłowo odmierzać puls. Następnie wciska przycisk START a asystujący włącza stoper. W *3 min* asystujący spisuje poziom tętna i uruchamia powtórnie przycisk START. Po następnych *3 min* asystujący spisuje poziom tętna, zatrzymuje pracę badanego i po raz kolejny uruchamia przycisk START. Spisuje wartość wyniku testu *PWC₁₇₀* i wciska przycisk STOP. Cykloergometr jest gotowy do następnego pomiaru. Zaleca się wykonywać wyliczenia ręcznie, gdyż czasami zdarzają się pomyłki obliczeń związane ze zgubieniem sygnału akcji serca przez system pomiarowy cykloergometru.

Ze względów bezpieczeństwa pomiary wysiłkowe można wykonywać jedynie wtedy, gdy uzyska się na nie zgodę lekarza, który będzie znajdował się w pobliżu celem ewentualnego udzielenia pomocy.

Wyniki testów wydolnościowych będą interpretowane jedynie w odniesieniu do normobarii, dopóki nie będzie można miarodajnie oszacować efektu odruchowej bradykardii²⁸ w warunkach hiperbarycznych. Efekt ten pojawia się już przy zanurzeniu w wodzie po szyję (Birch K., MacLaren D., George K., 2009; Linnarsson D., Östlund A., Lind F. and Hesser C. M., 1999).

WYNIKI I DYSKUSJA

W okresie selekcji z wykorzystaniem uproszczonego testu *PWC₁₇₀* przeprowadzono badania dla kandydatów na nurków eksperymentalnych. Wyniki pomiarów zestawiono w tab.8.

Z uwagi na wspomnianą wcześniej zależność, iż wielkość *PWC₁₇₀* odpowiada ok. *80%* obciążenia maksymalnego, a co za tym idzie *80%* maksymalnego zużycia tlenu: $0,8 \cdot \dot{v}_{max}$, uzyskane podczas badań wyniki pułapu tlenowego wymagają algebraicznego odniesienia do stanu obciążenia maksymalnego (tj. 100%), zatem po przeliczeniu osiągnięte przez nurków wartości maksymalnego pochłaniania tlenu \dot{v}_{max} zawierają się w przedziale $29 < \dot{v}_{max} < 42 \text{ cm}^3\text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

²⁸ Bradykardia (łac. *bradycardia*) – tutaj określany jest tym mianem stan, kiedy częstość akcji serca spada przy wystawieniu organizmu na ekspozycję hiperbaryczną, w porównaniu do przebywania w normobarii

SIMPLIFIED PROCEDURE

One of cycle ergometers, type ERM-100, has a special feature measuring indicators PWC_{170} , PWC_{150} and PWC_{90} . Due to the fact that it requires 230 V~, it is used only for normobaric measurements in monitoring the fitness of divers.

To determine the parameter PWC_{170} , only two degrees of exercises are needed; they are changed every 3 min using the START button. Tests may be performed independently with the mandatory assistance of colleagues. The sixth program is used to perform the test. The subject places a pulse meter on the ear and waits for the apparatus to start measuring the pulse correctly. Then the subject presses the START button and the assistant turns on the timer. In the third minute, the assistant writes down the level of heart rate and activates the START button again. After another three minutes, the assistant writes down the heart rate level, stops the subject's work and presses the START button once again. Then he writes down the value of the PWC_{170} test result and pushes the STOP button. The cycle ergometer is ready for the next measurement. It is recommended to perform calculations manually, because sometimes there are calculation mistakes connected with heart rate signal loss by the measuring system of the cycle ergometer.

For security reasons, measurements can only be performed if a doctor's permission is obtained; a doctor should always be present in case of emergency.

Physical work capacity test results will be interpreted only in relation to normobaria until a reliable estimation of the effects of involuntary bradycardia in hyperbaric conditions, induced by water immersion to the neck, is possible (Birch K., MacLaren D., George K., 2009; Linnarsson D., Östlund A., Lind F. and Hesser C. M., 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

During the selection time using the simplified PWC_{170} test, a survey of the candidates for experimental divers was conducted. The measurement results are summarized in Table 8.

It was mentioned before that the level of PWC_{170} corresponds to approximately 80% of maximum load, and thus 80% of maximum oxygen consumption: $0,8 \cdot \dot{v}_{max}$. The test results need an algebraic reference to the maximum capacity (100%), therefore the divers' maximum values achieved during the test range from $29 < \dot{v}_{max} < 42 \text{ cm}^3\text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ after the conversion.

Tabela 8

Wyniki pomiarów według uproszczonego testu PWC_{170} dla nurków eksperymentalnych

Kryptonim nurka	Wiek	Masa	Wzrost	PWC_{170}	\dot{V}_O^{\max} ²⁹		MET ₀ ³
	[lata]	[kg]	[cm]		[$cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$]	[$dm^3 \cdot min^{-1}$]	
ALFA	47	82	183	225	33,1	2,7	9,5
BETA	55	70	168	177	30,8	2,2	8,8
GAMMA	51	98	188	270	33,5	3,3	9,6
DELTA	36	82	176	209	31,1	2,5	8,9
EPSILON	43	99	179	257	31,6	3,1	9,0
DZETA	42	80	172	189	29,0	2,3	8,3
ETA	33	88	176	192	27,1	2,4	7,7
THETA	34	83	185	221	32,2	2,7	9,2
JOTA	32	90	176	205	28,1	2,5	8,0
LAMBDA	38	86	185	189	27,3	2,3	7,8
OMIKRON	34	80	174	170	26,5	2,1	7,6
PI	29	100	178	220	27,3	2,7	7,8
RO	31	83	179	175	26,2	2,2	7,5
SIGMA	28	78	179	143	23,3	1,8	6,7
TAU	28	106	183	202	24,1	2,6	6,9
YPSILON	30	74	179	193	31,6	2,3	9,0
FI	30	78	173	173	27,5	2,1	7,8

Opisana w artykule prosta metoda testowania wydolności nurków sprawdza się w praktyce jako wiarygodne, szybkie i tanie badanie przesiewowe, jednak w przyszłości do precyzyjnej oceny nurków eksperymentalnych podczas badań wysiłkowych zaleca się wykonywanie bezpośrednich pomiarów wielu istotnych parametrów, z których kluczowym jest pułap tlenowy \dot{V}_{\max} ³¹. Oprócz screeningu, proste metody testowania należy też postawić do dyspozycji nurków aby umożliwić im samoocenę aktualnego stopnia wytrenowania.

INFORMACJE DODATKOWE

Artykuł powstał w ramach realizacji pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2009 – 2011 jako projekt badawczy rozwojowy Nr O R00 0001 08, pt. „Projektowanie dekompresji w misjach bojowych”.

²⁹ $\dot{V}_O^{\max} = \frac{10,8 \cdot P}{m} + 3,5$ gdzie: P – obciążenie pracą [W], m – masa [kg], \dot{V}_O^{\max} – pułap tlenowy STPD [$cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$] (Birch K., MacLaren D., George K., 2009)

³⁰ równoważnik metaboliczny MET stanowi ogólną metodę wyrażania wydatku energetycznego poprzez odniesienie do spoczynkowego pobierania tlenu przyjętego na poziomie $1 MET = 3,5 cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Birch K., MacLaren D., George K., 2009)

³¹ aparatura taka jest w posiadaniu AMW, lecz wykonywanie pojedynczego badania jest znacznie droższe i czasochłonne

Table 8

The results of measurements using the simplified PWC_{170} test for experimental divers

Diver's code name	Age	Weight	Height	PWC_{170}	$\dot{V}_O^{\max 24}$		MET ²⁵
	[years]	[kg]	[cm]	[W]	[$cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$]	[$dm^3 \cdot min^{-1}$]	
ALFA	47	82	183	225	33,1	2,7	9,5
BETA	55	70	168	177	30,8	2,2	8,8
GAMMA	51	98	188	270	33,5	3,3	9,6
DELTA	36	82	176	209	31,1	2,5	8,9
EPSILON	43	99	179	257	31,6	3,1	9,0
DZETA	42	80	172	189	29,0	2,3	8,3
ETA	33	88	176	192	27,1	2,4	7,7
THETA	34	83	185	221	32,2	2,7	9,2
JOTA	32	90	176	205	28,1	2,5	8,0
LAMBDA	38	86	185	189	27,3	2,3	7,8
OMIKRON	34	80	174	170	26,5	2,1	7,6
PI	29	100	178	220	27,3	2,7	7,8
RO	31	83	179	175	26,2	2,2	7,5
SIGMA	28	78	179	143	23,3	1,8	6,7
TAU	28	106	183	202	24,1	2,6	6,9
YPSILON	30	74	179	193	31,6	2,3	9,0
FI	30	78	173	173	27,5	2,1	7,8

The simple method of testing divers' physical work capacity described in the article works in practice as a reliable, quick and inexpensive screening test. However, it is recommended to perform direct measurements of many important parameters, from which the key one is $VO_2 \max \dot{V}_{O_2 \max}$, to assess experimental divers accurately.

In addition to screening, a simple method of testing should also be put at the disposal of divers to enable them to esteem their current level of fitness.

ADDITIONAL INFORMATION

The paper was written as part of a developmental research project no. O R00 0001 08, called "Decompression design in combat missions", which was carried out as part of a funded scientific work in the years 2009-2011.

²⁴ $\dot{V}_O^{\max} = \frac{10,8 \cdot P}{m} + 3,5$ where: P – workload [W], m – weight [kg], \dot{V}_O^{\max} – $VO_2 \max$ STPD [$cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$] (Birch K., MacLaren D., George K., 2009)

²⁵ metabolic equivalent MET is a general method of expressing energy expenditure by referring to the resting oxygen uptake at the following level: $1 MET = 3,5 cm^3 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Birch K., MacLaren D., George K., 2009)

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

1. Åstrand P.-O. and Rodahl K. 1977. *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercises*. New York : McGraw-Hill, Inc., 1977. ISBN 0-07-002406-5.
2. Birch K., MacLaren D., George K. 2009. *Fizjologia sportu-krótkie wykłady*. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009. ISBN 978-83-01-15460-8.
3. Kozłowski S. i Nazar K. 1984. *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*. Warszawa : PZWL, 1984.
4. Linnarsson D., Östlund A., Lind F. and Hesser C. M. 1999. Hyperbaric bradycardia and hypoventilation in exercising men: effects of ambient pressure and breathing gas. *J. Appl. Physiol.* 1999, Tom 87, 4, strony 1428–1432.
5. Wasserman K. 1982. Dyspnea on exertion. *J.Am.Med.Assoc.* 1982, Tom 248, strony 2039-2045.