

Józef Szubert<sup>1</sup>Sławomir Szubert<sup>1</sup>Wiesława Koszada-Włodarczyk<sup>2</sup>Alicja Bortkiewicz<sup>2</sup>

## NOWE METODY WYZNACZANIA WZGLĘDNEGO OBCIĄŻENIA WYSIŁKIEM FIZYCZNYM ORGANIZMU CZŁOWIEKA

NEW METHODS FOR DETERMINING THE RELATIVE LOAD  
DUE TO PHYSICAL EFFORT OF THE HUMAN BODY

<sup>1</sup> Wyższa szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna / Higher School of Humanities and Economics, Łódź, Poland  
Katedra Informatyki Stosowanej / Department of Applied Informatics

<sup>2</sup> Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland  
Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii / Department of Work Physiology and Ergonomics

### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Względne obciążenie wysiłkiem fizycznym (%  $VO_2$ max) jest ilorazem zapotrzebowania na tlen ( $VO_2$ ) podczas wysiłku fizycznego i maksymalnego poboru tlenu ( $VO_2$ max) przez organizm człowieka, a jego ocena wymaga przeprowadzenia próby wysiłkowej. Względne obciążenie wykazuje wysoką korelację m.in. z wentylacją minutową płuc, pojemnością minutową serca, częstością skurczów serca, objętością wyrzutową lewej komory, zwiększeniem stężenia amin katecholowych we krwi, temperaturą wewnętrzną, masą, wysokością i powierzchnią ciała człowieka. Względne obciążenie stanowi kryterium dopuszczalności obciążenia wysiłkowego w pracy zawodowej ludzi zdrowych i chorych. Poza tym w oparciu o względne obciążenie można dokonać dokładniejszej klasyfikacji wysiłku niż na podstawie wydatku energetycznego. **Materiał i metody:** W oparciu o własne i światowe dane empiryczne oraz prawa wymiany ciepła i mechanikę płynów opracowano model układu regulacji temperatury wraz z elementami układu krążenia i oddychania. Wykorzystanie tego modelu pozwoliło opracować 2 własne metody wyznaczenia względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym. Nie wymagają one wykonania próby wysiłkowej, niezbędna jest tylko znajomość temperatury wewnętrznej ( $T_w$ ) lub częstości skurczów serca w ciągu 1 min (HR) oraz masy (m), wysokości (H) i powierzchni ciała człowieka ( $A_D$ ). **Wyniki:** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (%  $VO_2$ max) uzyskane za pomocą własnych, nowych metod nie różnią się istotnie statystycznie od średnich wartości uzyskanych innymi metodami przez innych badaczy. **Wnioski:** Opracowane, nowe metody wyznaczenia względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (%  $VO_2$ max) nie wymagają przeprowadzania badań wysiłkowych, dzięki czemu (po zweryfikowaniu w bardziej szczegółowym eksperymencie) mogą być alternatywą dla obecnie stosowanych metod. Med. Pr. 2014;65(2):189–195

**Słowa kluczowe:** obciążenie względne, obciążenie bezwzględne, temperatura wewnętrzna, częstość skurczów serca, klasyfikacja wysiłków fizycznych

### ABSTRACT

**Background:** The relative physical load (%  $VO_2$ max) is the quotient of oxygen uptake ( $Vo_2$ ) during physical effort and maximum oxygen uptake ( $VO_2$ max) by the human body. For this purpose the stress test must be performed. The relative load shows a high correlation with minute ventilation, cardiac output, heart rate, stroke volume, increased concentrations of catecholamines in the blood, inner temperature, weight, height and human body surface area. The relative load is a criterion for the maximum workloads admissible for healthy and sick workers. Besides, the classification of effort can be more precise when based on the relative load than on the energy output. **Material and Methods:** Based on our own and international empirical evidence and the laws of heat transfer and fluid mechanics, a model of temperature control system has been developed, involving the elements of human cardiovascular and respiratory systems. Using this model, we have been able to develop our own methods of determining the relative load, applying only the body core temperature ( $T_w$ ) or heart rate within one minute (HR), body mass (m), height (H), and body surface area ( $A_D$ ) instead of  $VO_2$ max. **Results:** The values of the relative physical load (%  $VO_2$ max) obtained by using our own methods do not differ significantly from those obtained by other methods and by other researchers. **Conclusions:** The developed methods for determining the relative physical load (%  $VO_2$ max) do not require the exercise test to be performed, therefore, they may be considered (after verification in an experimental study) a feasible alternative to current methods. Med Pr 2014;65(2):189–195

**Key words:** relative load, absolute load, inner temperature, heart rate, classification of exercise

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Alicja Bortkiewicz, Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii,  
Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: alab@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 28 października 2013, zatwierdzono: 27 lutego 2014

## WSTĘP

Względne obciążenie organizmu człowieka (%  $VO_2$ max) jest ilorazem zapotrzebowania na tlen ( $VO_2$ ) podczas wysiłku fizycznego i maksymalnego poboru tlenu ( $VO_2$ max) przez organizm człowieka. Wysoką korelację z wartością względnego obciążenia wykazuje wiele wskaźników różnych narządów i układów, takich jak wentylacja płuc, pojemność minutowa serca, częstość skurczów serca, objętość wyrzutowa lewej komory, ciśnienie tętnicze krwi, zmiany regionalnego przepływu krwi, zwiększenie stężenia amin katecholowych we krwi, zmiany wydzielania niektórych hormonów itp. (1–6).

Przebieg procesów metabolicznych w czasie wysiłku fizycznego oraz większość wskaźników reakcji organizmu na wysiłek zależy w większym stopniu od wartości względnego obciążenia niż od obciążenia bezwzględnego. Od obciążenia względnego zależy ilość mleczanu wytwarzanego w komórkach mięśniowych i jego stężenie we krwi oraz związane z tym zmiany wskaźników równowagi kwasowo-zasadowej (3,7–11). Także od obciążenia względnego zależy tempo zużycia glikogenu mięśniowego i glukozy z krwi, wysiłkowy wzrost temperatury wewnętrznej, odczucie ciężkości pracy oraz duszności wysiłkowej (3,11–14). Wyznaczanie względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (%  $VO_2$ max) wymaga znajomości poboru tlenu ( $VO_2$ ) podczas aktualnie wykonywanego wysiłku przez badaną osobę oraz jej maksymalnego poboru tlenu ( $VO_2$ max).

Celem prezentowanej pracy było opracowanie nowych metod wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (%  $VO_2$ max) za pomocą wzorów, które mogłyby być alternatywą dla obecnie stosowanych metod. Te ostatnie wymagają bowiem przeprowadzania czasochłonnych badań (m.in. oceny wydolności fizycznej –  $VO_2$ max), które są obciążające dla osób badanych.

## MATERIAŁ I METODY

W oparciu o własne i światowe dane empiryczne oraz prawa wymiany ciepła i mechanikę płynów opracowano model układu regulacji temperatury wraz z elementami układu krążenia i oddychania organizmu człowieka (15). Badania te pozwoliły na opracowanie 2 prostych metod wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym.

W metodzie I do wyznaczenia tej wielkości niezbędnym jest pomiar temperatury wewnętrznej (rektalnej), masy i wysokości ciała człowieka. Względne obciążenie wysiłkiem wyznacza się z równania:

$$\frac{VO_2}{VO_{2max}} = 32,2301(T_w - 36,8) \frac{H^{1,45}}{m^{0,15}} [\%] \quad [1]$$

gdzie:

$\frac{VO_2}{VO_{2max}}$  – względne obciążenie wysiłkiem fizycznym [%],

$T_w$  – temperatura wewnętrzna (rektalna) [C],

$H$  – wysokość ciała [m],

$m$  – masa ciała [kg].

W metodzie II do wyznaczenia względnego obciążenia wysiłkiem niezbędny jest pomiar częstości skurczów serca i powierzchni ciała człowieka. Względne obciążenie wysiłkiem wyznacza się z równania:

$$\frac{VO_2}{VO_{2max}} = (0,76923 - 0,03127A_D) (HR - 70) + 4,0651A_D [\%] \quad [2]$$

gdzie:

$\frac{VO_2}{VO_{2max}}$  – względne obciążenie wysiłkiem fizycznym [%],

$A_D = 0,20247m^{0,425}H^{0,725}$  [m<sup>2</sup>] (równanie Du Bois) – powierzchnia ciała człowieka [m<sup>2</sup>],

$HR$  – częstość skurczów serca w ciągu 1 min,

$H$  – wysokość ciała [m],

$m$  – masa ciała [kg].

Wiarygodność wyników otrzymanych za pomocą własnych metod oceniono przez ich porównanie z wynikami badań wykonanych w tej samej grupie osób przez innych badaczy i innymi metodami:

- wyniki w pierwszej metodzie vs wyniki Saltina i Hermansena (16) oraz Saltina i wsp. (17),
- wyniki w drugiej metodzie vs wyniki Saltina i wsp. (17) oraz Wolfe'a i wsp. (18).

Taki sposób weryfikacji otrzymanych wyników zapewnia obiektywizm.

## WYNIKI

W badaniach Saltina i Hermansena (16) brało udział 7 osób, które wykonywały wysiłek o 3 różnych stopniach intensywności – maksymalny pobór tlenu ( $VO_2$ max) wyniósł 26,56%, 51,35% i 69,53% – w temperaturze otoczenia około 20°C. Dysponując średnimi wartościami masy, wysokości i temperatury wewnętrznej ciała otrzymanymi przez Saltina i Hermansena, autorzy niniejszej pracy wyznaczyli wartość względnego obciążenia wysiłkiem metodą własną I. Wyniki pomiaru względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym

nym uzyskane przez Saltina i Hermansena oraz metodą własną I przedstawiono w tabeli 1. Różnice między wartościami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczonymi ww. metodami, przy różnych intensywnościach wysiłku fizycznego, wynosiły 0,75%, 1,78% i 3,04%.

W eksperymentach Saltina i wsp. (17) brały udział 4 osoby, które wykonywały wysiłek o 3 różnych stopniach intensywności, wyrażonych w odsetkach maksymalnego pochłaniania tlenu oraz w różnych temperaturach otoczenia – 10°C, 20°C i 30°C. Dysponując wyznaczonymi przez ww. autorów średnimi wartościami masy, wysokości oraz temperatury wewnętrznej ci-

ła osób badanych, autorzy niniejszej pracy wyznaczyli wartości względnego obciążenia wysiłkiem metodą własną I. Wyniki Saltina i wsp. oraz własne, dotyczące względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym przy różnych obciążeniach i różnych temperaturach otoczenia (10°C, 20°C, 30°C), zostały przedstawione w tabelach 2–4. Różnice między wartościami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczonymi ww. metodami, przy różnych intensywnościach wysiłku fizycznego i 3 różnych temperaturach otoczenia, zawierały się w przedziale 0,44–8,29%.

Wyniki eksperymentów Saltina i wsp. (17), przedstawione w tabelach, zostały także zastosowane do

**Tabela 1.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone przez Saltina i Hermansena (16) oraz metodą własną I  
**Table 1.** Values of relative physical load determined by Saltin and Hermansen (16) and by the authors of this work, using their own method I

Intensywność wysiłku Effort intensity	$T_w$ (M) [°C]	m (M) [kg]	H (M) [m]	% $VO_{2max}$		Różnica Difference [%]
				Saltin, Hermansen (6)	metoda własna I our own method I	
Mała / Low	37,49	69,06	1,76	26,56±1,33	26,74±1,34	0,75
Średnia / Medium	38,15	69,06	1,76	51,35±2,57	52,33±2,62	1,78
Duża / High	38,65	69,06	1,76	69,53±3,48	71,71±3,58	3,04

M – średnia / mean,  $T_w$  – temperatura wewnętrzna (rektalna) / internal (rectal) temperature, m – masa ciała / body mass, H – wysokość ciała / body height, %  $VO_{2max}$  – względne obciążenie wysiłkiem fizycznym / relative physical load.

**Tabela 2.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 10°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną I

**Table 2.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work, using their own method I at 10°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	$T_w$ (M) [°C]	m (M) [kg]	H (M) [m]	% $VO_{2max}$		Różnica Difference [%]
				Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna I our own method I	
Mała / Low	37,45	87,9	1,84	26,59±1,33	25,93±1,30	2,48
Średnia / Medium	37,95	87,9	1,84	46,82±2,34	45,88±2,29	2,01
Duża / High	38,58	87,9	1,84	72,05±3,60	71,02±3,55	1,43

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

**Tabela 3.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 20°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną I

**Table 3.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work, using their own method I at 20°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	$T_w$ (M) [°C]	m (M) [kg]	H (M) [m]	% $VO_{2max}$		Różnica Difference [%]
				Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna I our own method I	
Mała / Low	37,45	87,9	1,84	27,46±1,34	25,93±1,30	5,57
Średnia / Medium	38,00	87,9	1,84	46,22±2,31	47,88±2,39	3,47
Duża / High	38,58	87,9	1,84	70,71±3,53	71,02±3,55	0,44

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

**Tabela 4.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 30°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną I

**Table 4.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work, using their own method I at 30°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	$T_w$ (M) [°C]	m (M) [kg]	H (M) [m]	% $VO_2$ max		Różnica Difference [%]
				Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna I our own method I	
Mała / Low	37,48	87,9	1,84	26,38±1,32	27,13±1,36	2,76
Średnia / Medium	38,05	87,9	1,84	46,33±2,32	49,87±2,49	7,09
Duża / High	38,80	87,9	1,84	73,17±3,65	79,79±3,99	8,29

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

oceny wiarygodności wyników wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym, otrzymanych za pomocą metody własnej II. W metodzie wykorzystano dane dotyczące powierzchni ciała badanych osób. Wyniki pomiaru względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym uzyskane przez Saltina i wsp. oraz metodą własną II przy 3 różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia 10°C, 20°C i 30°C zostały przedstawione w tabelach 5–7. Różnice między wynikami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczonymi ww. metodami,

przy różnych intensywnościach wysiłku fizycznego i w 3 różnych temperaturach otoczenia, zawierały się w przedziale 1,89–6,46%.

W eksperymentach Wolfe'a i wsp. (18) brały udział 3 grupy mężczyzn (po 10 osób w każdej grupie) o różnej wydolności fizycznej (niskiej, średniej i wysokiej). Badani wykonywali wysiłek o 3 różnych stopniach intensywności wyrażonych jako  $VO_2$ max. Temperatura otoczenia ( $T_a$ ) wynosiła 21–25°C. Dysponując średnią wartością powierzchni ciała ( $A_D$ ) i częstości skurczów serca na min (HR) osób badanych wyznaczoną

**Tabela 5.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 10°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną II

**Table 5.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work using their own method II at 10°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	$A_D$ (M) [m <sup>2</sup> ]	% $VO_2$ max		Różnica Difference [%]
			Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	94	2,13	26,59±1,33	25,52±1,28	4,02
Średnia / Medium	121	2,13	46,81±2,34	44,49±2,22	4,96
Duża / High	164	2,13	72,05±3,60	74,71±3,74	3,56

HR – częstość skurczów serca na minutę / heart rate per minute;  $A_D$  – powierzchnia ciała / body surface area.

Inne skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

**Tabela 6.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 20°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną II

**Table 6.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work using their own method II at 20°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	$A_D$ (M) [m <sup>2</sup> ]	% $VO_2$ max		Różnica Difference [%]
			Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	96	2,13	27,45±1,37	26,93±1,35	1,89
Średnia / Medium	128	2,13	46,22±2,31	49,41±2,47	6,46
Duża / High	165	2,13	70,71±3,53	75,41±3,77	6,23

Skróty jak w tabeli 1 i 5 / Abbreviations as in Tables 1 and 5.

**Tabela 7.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczone w temperaturze otoczenia 30°C przez Saltina i wsp. (17) oraz metodą własną II

**Table 7.** Values of relative physical load determined by Saltin et al. (17) and by the authors of this work, using their own method II at 30°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	A <sub>D</sub> (M) [m <sup>2</sup> ]	% VO <sub>2</sub> max		Różnica Difference [%]
			Saltin i wsp. / et al. (17)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	99	2,13	26,38±1,32	26,93±1,34	2,04
Średnia / Medium	128	2,13	46,33±2,32	49,41±2,47	6,23
Duża / High	169	2,13	73,17±3,66	78,22±3,91	6,46

Skróty jak w tabeli 1 i 5 / Abbreviations as in Tables 1 and 5.

przez Wolfe'a i wsp., autorzy niniejszej pracy obliczyli wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym metodą własną II. Wielkość tę, wyznaczoną przez Wolfe'a i wsp. oraz metodą własną II dla 3 grup badanych mężczyzn (o niskiej, średniej i wysokiej wydolności fizycznej) przy 3 różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, przedstawiono w tabelach 8–10. Różnice między wartościami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym wyznaczonymi ww. metodami przy różnej intensywności wysiłku fizycznego zawierały się w przedziale 0,96–5,97%.

### Ocena statystyczna metody własnej I

Wyniki względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym otrzymane przez Saltina i Hermansena (16) oraz Saltina i wsp. (17) oznaczono symbolem Y<sub>1</sub>, a wyniki otrzymane metodą własną I – symbolem X<sub>1</sub>. Następnie przeprowadzono testy statystyczne, które wykazały, że ww. metody wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym dają wyniki nieróżniące się istotnie.

Wyznaczono współczynnik korelacji między wartościami Y<sub>1</sub> a X<sub>1</sub> względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (r = 0,995) oraz przeprowadzono testy sta-

**Tabela 8.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym osób o niskiej wydolności fizycznej wyznaczone w temperaturze otoczenia około 21–25°C przez Wolfe'a i wsp. (18) oraz metodą własną II

**Table 8.** Values of relative physical load determined in people with low physical capacity by Wolfe et al. (18) and by the authors of this work using their own method II at ca. 21–25°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	A <sub>D</sub> (M) [m <sup>2</sup> ]	% VO <sub>2</sub> max		Różnica Difference [%]
			Wolfe i wsp. / et al. (18)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	109	1,99	33,53±1,68	35,66±1,78	5,97
Średnia / Medium	140	1,99	56,36±2,82	57,58±2,84	2,19
Duża / High	166	1,99	78,03±3,90	75,96±3,75	2,65

Skróty jak w tabeli 1 i 5 / Abbreviations as in Tables 1 and 5.

**Tabela 9.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym osób o średniej wydolności fizycznej wyznaczone w temperaturze otoczenia około 21–25°C przez Wolfe'a i wsp. (18) oraz metodą własną II

**Table 9.** Values of relative physical load determined in people with medium physical capacity by Wolfe et al. (18) and by the authors of this work using their own method II at ca. 21–25°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	A <sub>D</sub> (M) [m <sup>2</sup> ]	% VO <sub>2</sub> max		Różnica Difference [%]
			Wolfe i wsp. / et al. (18)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	110	1,93	35,01±1,75	36,20±1,78	3,29
Średnia / Medium	136	1,93	55,16±2,76	54,63±2,69	0,96
Duża / High	161	1,93	74,05±3,70	72,35±3,57	2,29

Skróty jak w tabeli 1 i 5 / Abbreviations as in Tables 1 and 5.

**Tabela 10.** Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym osób o wysokiej wydolności fizycznej wyznaczone w temperaturze otoczenia około 21–25°C przez Wolfe'a i wsp. (18) oraz metodą własną II  
**Table 10.** Values of relative physical load determined in people with high physical capacity by Wolfe et al. (18) and by the authors of this work using their own method II at ca. 21–25°C ambient temperature

Intensywność wysiłku Effort intensity	HR (M)	A <sub>D</sub> (M) [m <sup>2</sup> ]	% VO <sub>2</sub> max		Różnica Difference [%]
			Wolfe i wsp. / et al. (18)	metoda własna II our own method II	
Mała / Low	109	1,82	36,61±1,83	35,18±1,75	3,91
Średnia / Medium	138	1,82	58,68±2,93	55,84±2,77	4,84
Duża / High	161	1,82	75,11±3,75	72,22±3,61	3,85

Skróty jak w tabeli 1 i 5 / Abbreviations as in Tables 1 and 5.

tystyczne dla tego współczynnika, które wykazały, że jego wartość między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$  względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym jest istotnie większa od 0,98. Poza tym oszacowano współczynnik korelacji między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$ . Przedział ufności dla oszacowanego współczynnika korelacji wynosi  $0,991 < \rho < 0,999$ .

Wynika z tego, że przedział o końcach 0,991 i 0,999 obejmuje szukaną wartość współczynnika korelacji między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$  względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym.

### Ocena statystyczna metody własnej II

Wyniki względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym otrzymane przez Wolfe'a i wsp. (18) oraz Saltina i wsp. (17) oznaczono symbolem  $Y_2$ , a wyniki otrzymane metodą własną II – symbolem  $X_2$ . Następnie przeprowadzono testy statystyczne, które wykazały, że ww. metody wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym dają wyniki nieróżniące się istotnie.

Wyznaczono współczynnik korelacji między wartościami  $Y_2$  i  $X_2$  względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym ( $r = 0,988$ ) oraz przeprowadzono testy statystyczne dla tego współczynnika, które wykazały, że jego wartość między wartościami  $Y_2$  i  $X_2$  względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym jest istotnie większa od 0,97. Poza tym oszacowano współczynnik korelacji między wartościami  $Y_2$  i  $X_2$ . Przedział ufności dla oszacowanego współczynnika korelacji wynosi  $0,987 < \rho < 0,989$ .

Wynika z tego, że przedział o końcach 0,987 i 0,989 obejmuje szukaną wartość współczynnika korelacji między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$  względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym.

### OMÓWIENIE

Przedstawione wyniki oraz przeprowadzone dla nich testy istotności dowodzą, że własne metody wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym organizmu człowieka dają wyniki nieróżniące się istotnie od wyników otrzymanych u tych samych osób innymi metodami przez innych badaczy. Do obliczeń wykorzystano wartości średnie z prac użytych do porównań z własnymi metodami. Autorzy niniejszej publikacji zdają sobie sprawę, że bardziej wiarygodne byłoby porównanie, w którym wykorzystano by parametry pojedynczych badanych osób, ale do dyspozycji mieli jedynie wartości średnie. Warto byłoby zweryfikować uzyskane wyniki w oparciu o dane pojedynczych badanych, a także wyniki badań przeprowadzonych w innej populacji, z wykorzystaniem innych modeli doświadczalnych.

Przeprowadzone testy statystyczne dla współczynnika korelacji między wynikami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym otrzymanymi przez innych autorów ( $Y_1$ ) a wynikami otrzymanymi metodą własną I ( $X_1$ ) wykazały, że współczynnik korelacji między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$  wynosi 0,995 i jest istotnie większy od 0,98. Z oszacowanego współczynnika korelacji między wartościami  $Y_1$  i  $X_1$  wynika, że przedział o końcach 0,991 i 0,999 obejmuje szukaną wartość tego współczynnika. Z kolei test statystyczny przeprowadzony dla współczynnika korelacji między wynikami względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym otrzymanymi przez innych badaczy ( $Y_2$ ), a wynikami otrzymanymi drugą, własną metodą ( $X_2$ ) wykazał, że współczynnik korelacji między wynikami  $Y_2$  i  $X_2$  wynosi 0,988 i jest istotnie większy od wartości 0,97. Z oszacowanego współczynnika korelacji między wartościami  $Y_2$  i  $X_2$  wynika,

że przedział o końcach 0,987 i 0,989 obejmuje szukaną wartość tego współczynnika.

Metody własne pozwalają wyznaczyć względne obciążenie wysiłkiem fizycznym (%  $\text{VO}_2\text{max}$ ) podczas małych, średnich i dużych obciążeń. Z pierwszej metody wynika, że względne obciążenie wysiłkiem fizycznym jest proporcjonalne do temperatury wewnętrznej (rektalnej) pomniejszonej o stałą wartość 36,8. Z drugiej metody wynika, że względne obciążenie wysiłkiem fizycznym jest proporcjonalne do częstości skurczów serca w ciągu 1 min, pomniejszonej o stałą wartość 70. Badania własne wskazują na ścisłą współpracę układów krążenia, oddychania i termoregulacji w dostarczaniu tlenu i usuwaniu dwutlenku węgla oraz ciepła metabolicznego. Do podobnych wniosków doszli także inni badacze (3,8,12,16–18).

Opracowane metody własne wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym (%  $\text{VO}_2\text{max}$ ) pozwalają w sposób prosty i niestanowiący obciążenia dla osób badanych wyznaczyć ten ważny parametr fizjologiczny. Dotychczas w literaturze nie opisano podobnych metod. Opracowane metody własne mogą być alternatywne do obecnie stosowanych metod wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym organizmu człowieka.

## WNIOSKI

1. Opracowano 2 metody własne wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym organizmu człowieka (%  $\text{VO}_2\text{max}$ ) w funkcji:
  - a) temperatury wewnętrznej, masy i wysokości ciała człowieka,
  - b) częstości skurczów serca i powierzchni ciała człowieka.
2. Wykazano, że względne obciążenie wysiłkiem fizycznym jest proporcjonalne do temperatury wewnętrznej pomniejszonej o stałą wartość 36,8 lub do częstości skurczów serca pomniejszonej o stałą wartość 70 podczas wysiłku fizycznego.
3. Wartości względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym otrzymane u tych samych badanych osób metodami własnymi i innymi metodami przez innych badaczy nie wykazują istotnych różnic statystycznych.
4. Opracowane metody własne wyznaczania względnego obciążenia wysiłkiem fizycznym ze względu na prostotę i dokładność mogą być alternatywne do obecnie stosowanych metod wyznaczania tego pa-

rametru (czasochłonnych i obciążających dla osób badanych).

## PIŚMIENNICTWO

1. Górski J.: Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2008
2. Jaskólski A., Jaskólska A.: Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego. Wydawnictwo AWF, Wrocław 2006
3. Kozłowski S., Nazar K.: Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1999
4. Mędraś M.: Endokrynologia wysiłku fizycznego sportowców. MedPharm Polska, Wrocław 2010
5. Wilmore J.H., Castill D.L.: Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, Champaign (Illinois) 1999
6. Astrand P.O., Rodahl K.: Textbook of work physiology. McGraw-Hill Book Company, New York 1986
7. Costill D.L., Wilmore J.H.: Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, Champaign (Illinois) 1994
8. Astrand P.O., Rodahl K., Dahl A.H., Stromme S.B.: Textbook of work physiology. Human Kinetics, Champaign (Illinois) 2003
9. Fox E.L., Bowers L.W., Foss M.L.: The physiological basis for exercise and sport. Saunders, Philadelphia 1993
10. Garrett W.E., Kirkendall D.T.: Exercise and sport science. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2000
11. Jones A.M., Poole D.C.: Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. Routledge, New York 2004
12. Kozłowski S., Domaniecki J.: Termoregulacja podczas wysiłków fizycznych u ludzi o różnej wydolności fizycznej. Acta Physiol. Pol. 1972;23:761–772
13. Wilmore J., Costill D.L.: Physiology of sport and exercise. Human Kinetics, Champaign 2004
14. Robergs R.A., Keteyian S.J.: Fundamentals of exercise physiology for fitness, performance and health. McGraw-Hill Book Company, New York 2003
15. Szubert J.: Biofizyczne aspekty termoregulacji w organizmie człowieka. WAM, Łódź 1980
16. Saltin B., Hermansen L.: Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. J. Appl. Physiol. 1966;21(6):1757–1762
17. Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol. 1968;25(6):679–688
18. Wolfe L.A., Cunningham D.M., Davis G.M., Rosenfeld H.: Relationship between maximal oxygen uptake and left ventricular function in exercise. J. Appl. Physiol. 1978;44:44–49