

Józef Szubert<sup>1</sup>

Sławomir Szubert<sup>1</sup>

Alicja Bortkiewicz<sup>2</sup>

## NOWA METODA WYZNACZANIA WYDATKU ENERGETYCZNEGO CZŁOWIEKA

A NEW METHOD FOR THE DETERMINATION OF HUMAN ENERGY EXPENDITURE

<sup>1</sup> Wyższa Szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna, Łódź

Katedra Informatyki Stosowanej

<sup>2</sup> Instytut Medycyny Pracy im. J. Nofera, Łódź

Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii

### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Fizjologia pracy, oprócz tworzenia podstaw teoretycznych dla medycyny pracy, zajmuje się badaniami o charakterze praktycznym. W badaniach tych dąży się do określenia wielu kryteriów fizjologicznych, pozwalających ustalić stopień obciążenia pracą oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia. Wskaźnikiem fizjologicznym powszechnie stosowanym przy ocenie ciężkości pracy jest wydatek energetyczny. Pomiar wydatku energetycznego stosowane są w celu określenia obciążenia organizmu człowieka przy wykonywaniu różnych czynności w pracy zawodowej, w sporcie, rehabilitacji itp. Badanie wydatku energetycznego człowieka można wykonać za pomocą kalorymetrii bezpośredniej, pośredniej lub metodami tabelarycznymi. Wszystkie one mają swoje ograniczenia i z tego powodu poszukuje się ciągle nowych możliwie prostych do zastosowania, ale wiarygodnych metod. **Materiał i metody:** Na podstawie danych z piśmiennictwa i wyników badań własnych oraz prawa wymiany ciepła i mechaniki płynów opracowano model układu regulacji temperatury wraz z elementami układu krążenia organizmu człowieka. Zastosowanie tego modelu pozwoliło opracować własną, prostą metodę wyznaczania wydatku energetycznego określonego w watach (W) oraz wydatku energetycznego przeliczonego na jednostkę powierzchni ciała człowieka, wyrażonego w watach na metr kwadratowy ( $W/m^2$ ), czyli gęstości wydatku energetycznego. Przy ocenie wydatku energetycznego opracowaną metodą wykorzystuje się wyniki pomiaru temperatury wewnętrznej, masy ciała i wzrostu człowieka. **Wyniki:** Wyniki oceny wydatku energetycznego uzyskane z zastosowaniem własnej metody nie różnią się istotnie statystycznie od wyników uzyskanych u tych samych osób metodą kalorymetrii pośredniej. **Wnioski:** Opracowana metoda wyznaczania wydatku energetycznego może być alternatywną w stosunku do obecnie stosowanych metod. Med. Pr. 2008;59(3):215–222

Słowa kluczowe: wydatek energetyczny, ciężkość pracy, sport, rehabilitacja, niedożywienie, przekarmienie

### ABSTRACT

**Background:** Work physiology besides providing the theoretical background for occupational medicine, is also concerned with performing practical research. The research is aimed at setting numerous physiological criteria for the assessment of workload and its maximum admissible values. Energy expenditure is commonly used as an index of work severity (or occupational work load). It is determined to assess the systemic load associated with performing various activities during occupational work, sports, rehabilitation treatment, etc. Human energy expenditure can be measured via direct or indirect calorimetric or tabular methods. The existing methods are encumbered with various disadvantages and the search for new, possibly simple but reliable methods, continues. **Material and Methods:** Based on the literature data, results of our own research, as well as the laws of heat exchange and fluid flow, a new model of temperature control system has been developed, which comprises some elements of the human circulatory system. This model has made it possible to develop our own, simple method for the assessment of energy expenditure, in Watts (W), and energy expenditure per human body area (or energy expenditure density), in Watts per square meter ( $W/m^2$ ). The new method involves measurements of inner body temperature, body mass and height to assess energy expenditure. **Results:** The results of energy expenditure assessments obtained using our new method do not differ significantly from those obtained in the same subjects with the indirect calorimetric method. **Conclusions:** Our new method may be considered as an alternative for existing methods of energy expenditure assessment. Med Pr 2008;59(3):215–222

Key words: energy expenditure, workload, sport, rehabilitation, malnutrition, overfeeding

Adres autorów: Radlińskiej 9/4, 91-848 Łódź, e-mail: jszubert@onet.eu

Nadesłano: 26 czerwca 2008

Zatwierdzono: 30 czerwca 2008

### WSTĘP

Fizjologia pracy, oprócz tworzenia podstaw teoretycznych dla medycyny pracy, zajmuje się badaniami o charakterze praktycznym. W badaniach tych dąży się do określenia wielu kryteriów fizjologicznych, pozwalających ustalić stopień obciążenia pracą oraz maksymalnie dopuszczalne obciążenia. Wskaźnikiem fizjologicznym obecnie najpowszechniej stosowanym przy ocenie

ciężkości pracy podczas badań ergonomicznych, jest wydatek energetyczny (1–3).

Wydatek energetyczny jest to ilość energii wydatkowanej w jednostce czasu przez organizm człowieka, wyrażony w watach (W). Udowodniono, że osobnicze różnice wydatku energetycznego są zależne od cech antropometrycznych człowieka i można je zmniejszyć,

przeliczając wyznaczone wartości wydatku energetycznego na 1 m<sup>2</sup> powierzchni ciała. Otrzymuje się w ten sposób gęstość wydatku energetycznego, wyrażonego w watach na metr kwadratowy (W/m<sup>2</sup>) (2).

Mimo narastającej mechanizacji i automatyzacji pracy zainteresowanie praktycznymi aspektami kosztu energetycznego pracy nie tylko nie maleje, a nawet wzrasta. Nadmiernie ciężka, wieloletnia praca fizyczna niekorzystnie wpływa na zdrowie pracujących, podczas gdy optymalne obciążenie wysiłkiem fizycznym, wyrażonym wielkością wydatku energetycznego, pozwala na utrzymanie dobrego zdrowia (3–6).

Zapotrzebowanie energetyczne człowieka składa się z podstawowej przemiany materii (energii podstawowej lub spoczynkowej) oraz przemiany wysiłkowej (tzw. efektywny wydatek energetyczny). Suma tych dwóch przemian (energii) stanowi wydatek energetyczny brutto (3,6).

Badanie wydatku energetycznego człowieka można wykonać za pomocą kalorymetrii bezpośredniej, w której mierzy się całkowitą ilość ciepła wytwarzanego w organizmie w określonym czasie, lub metodą kalorymetrii pośredniej, polegającej na pomiarze ilości pobranego przez organizm tlenu. Bezpośrednie pomiary ilości ciepła wytwarzanego w organizmie przeprowadza się w specjalnych kalorymetrach umożliwiających dokładny pomiar zmian temperatury powietrza w pomieszczeniu, w którym przebywa badana osoba oraz ilość ciepła traconego przez organizm wskutek promieniowania i parowania wody. Urządzenia tego typu są kosztowne i dysponują nimi tylko niektóre laboratoria na świecie. Poza tym mogą być wykorzystywane tylko w badaniach eksperymentalnych.

Znacznie bardziej rozpowszechniona i mniej kosztowna jest metoda kalorymetrii pośredniej. Opiera się ona na zależności między prędkością pochłaniania tlenu przez organizm a ilością energii uwalnianej w procesach utleniania. Najczęściej wydatek energetyczny oblicza się, mnożąc ilość pobranego przez organizm tlenu przez równoważnik energetyczny 1 l tlenu. Wartość tego równoważnika mieści się w granicach 19,6–21,12 kJ/l O<sub>2</sub>. Aby ją określić, można posłużyć się stosunkiem objętości wydalanego CO<sub>2</sub> do pochłoniętego O<sub>2</sub>, czyli współczynnikiem lub ilorazem oddechowym (R). Często przyjmuje się przeciętną wartość R = 0,82 i odpowiadający jej równoważnik energetyczny 1 l O<sub>2</sub> — 20,3 kJ (1,5,7,8).

Inną metodą stosowaną do określenia wydatku energetycznego na różnych stanowiskach pracy jest metoda tabelaryczna. Używa się w niej tabel przedstawiających wartości wydatku energetycznego podczas różnych

czynności pracownika, w poszczególnych branżach przemysłowych (3).

Poza tym istnieje szereg równań służących do obliczenia wydatku energetycznego, z których najbardziej zalecane są wzory Douglasa, Passmore'a, Penceva i Consolazio (1).

## 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 organizmu człowieka (2). Badania modelowe pozwoliły m.in. opracować własną, prostą metodę wyznaczania wydatku energetycznego określonego w watach (W) oraz wydatku energetycznego przeliczonego na jednostkę powierzchni ciała człowieka, wyrażonego w watach na metr kwadratowy (W/m<sup>2</sup>), czyli gęstości wydatku energetycznego (2,8). Do wyznaczenia tych wielkości fizjologicznych niezbędny jest pomiar temperatury wewnętrznej, masy ciała i wzrostu człowieka. Gęstość wydatku energetycznego wyznacza się ze wzoru:

$$\frac{M}{A_D} = 2271,18 (T_w - 36,8) \frac{H^{0,725}}{m^{0,575}} \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad [1]$$

gdzie:

$\frac{M}{A_D}$  — gęstość wydatku energetycznego,

$T_w$  — temperatura wewnętrzna,

$H$  — wzrost,

$m$  — masa ciała.

Jeśli chce się wyznaczyć wydatek energetyczny (M), należy przekształcić powyższe równanie oraz dokonać podstawienia wzoru Du Bois:

$$A_D = 0,20247 m^{0,425} H^{0,725} \quad [2]$$

Otrzymuje się wtedy:

$$M = 459,85 (T_w - 36,8) \frac{H^{1,45}}{m^{0,15}} [W] \quad [3]$$

Równanie to pozwala wyznaczyć wydatek energetyczny za pomocą temperatury wewnętrznej ( $T_w$ ) oraz parametrów morfometrycznych: wzrostu ( $H$ ) i masy ciała człowieka ( $m$ ).

Oceny wiarygodności wyników wydatku energetycznego otrzymanych za pomocą własnej metody dokonano poprzez porównanie ich z wynikami badań wykonanych u tych samych osób, metodą kalorymetrii pośredniej przez innych badaczy: Nielsena (9), Saltina i Hermansena (10) oraz Saltina, Gagge'a i Stolwijka (11). Taki sposób weryfikacji zapewnia pełen obiektywizm.

**WYNIKI**

W badaniach Nielsena brały udział trzy osoby, które uczestniczyły odpowiednio w 6, 6 i 4 seriach badań, w temperaturze otoczenia około 20°C. W tabeli 1. podano dane morfometryczne badanych osób. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły wyznaczyć m.in. wydatek energetyczny przeliczony na jednostkę powierzchni (W/m<sup>2</sup>) oraz temperaturę wewnętrzną (rektalną). Wydatek energetyczny został określony przez Nielsena metodą kalorymetrii pośredniej, polegającej na określeniu objętości tlenu pobieranego przez organizm w jednostce czasu i przeliczeniu go na wartość wydatku energetycznego za pomocą równoważnika energetycznego tlenu (EE). Wszystkie osoby wykonywały wysiłek o podobnej intensywności, wyrażony w % maksymalnego pochłaniania tlenu: A — 51% Vo<sub>2max</sub>, B — 40% Vo<sub>2max</sub>, C — 47% Vo<sub>2max</sub>. Dysponując masą ciała (m), wzrostem (H)

**Tabela 1.** Dane morfometryczne osób badanych przez Nielsena<sup>1</sup>  
**Table 1.** Morphometric data concerning persons examined by Nielsen

Osoby Persons	Liczba serii No. of series	Wiek [w latach] Age [years]	m [kg]	H [m]	A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> ]	Vo <sub>2max</sub> [l/min]
A	6	22	70,50	1,84	1,93	3,65
B	6	26	75,70	1,78	1,93	3,20
C	4	24	77,60	1,78	1,95	3,78

<sup>1</sup> Nielsen B.: Thermoregulation during work in carbon monoxide poisoning. Acta Physiol. Scand. 1971;82(1):98-106.  
 m — masa ciała / body mass, H — wzrost / height, AD — powierzchnia ciała / body area., Vo<sub>2max</sub> — maksymalne pochłanianie tlenu / maximum oxygen absorption.

**Tabela 2.** Średni wydatek energetyczny przy podobnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C, wyznaczone przez Nielsena<sup>1</sup> oraz metodą własną przez autorów pracy

**Table 2.** The mean energy expenditure at similar relative physical exercise loads at ambient temperature of 20°C determined by Nielsen and by the authors with use of their own method

Osoby Persons	Wiek [w latach] Age [years]	Vo <sub>2</sub> [l/min]	$\frac{M}{A_D} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$	T <sub>w</sub> [°C]	m [kg]	H [m]	$\frac{M^*}{A_D} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$
A	22	1,87	331,5±18,1	37,86	70,50	1,84	324,2±17,7
B	26	1,45	257,1±9,5	37,68	75,70	1,78	269,2±9,9
C	24	1,50	263,2±7,6	37,67	77,60	1,78	245,8±7,1

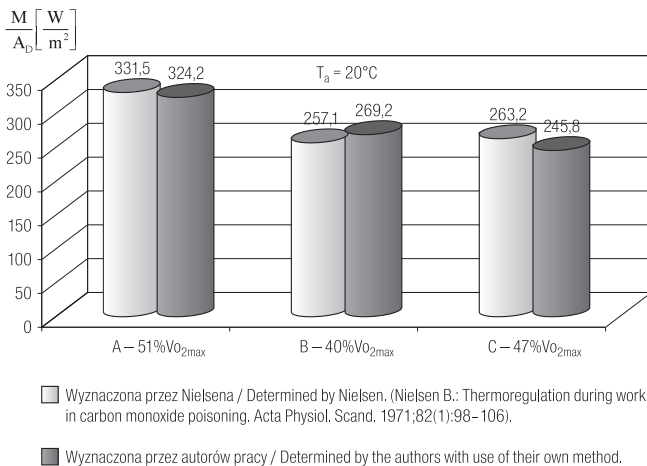
<sup>1</sup> Nielsen B.: Thermoregulation during work in carbon monoxide poisoning. Acta Physiol. Scand. 1971;82(1):98-106.

$\frac{M}{A_D} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  — wydatek energetyczny wyznaczony przez Nielsena / energy expenditure determined by Nielsen.

$\frac{M^*}{A_D} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  — wydatek energetyczny wyznaczony metodą własną / energy expenditure determined by the authors with use of their own method.

T<sub>w</sub> — temperatura wewnętrzna (rektalna) / inner temperature (rectal).

Objaśnienia jak w Tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.



**Ryc. 1.** Średnia wartość wydatku energetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni ciała trzech badanych osób (A, B, C) przy podobnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C.

**Fig. 1.** The mean value of energy expenditure per one body area of the three examined persons (A, B, C) at similar relative physical exercise loads at ambient temperature of about 20°C.

i temperaturą wewnętrzną (T<sub>w</sub>) wyznaczonymi przez Nielsena, autorzy obecnej pracy dla tych samych osób (A, B, C) wyznaczyli własną metodą wydatek energetyczny przeliczony na jednostkę powierzchni (W/m<sup>2</sup>). Wyniki Nielsena oraz własne dotyczące wydatku energetycznego zostały przedstawione w tabeli 2. oraz na rycinie 1. Różnice wyrażone w % między wydatkiem energetycznym wyznaczonymi dwiema metodami (przez Nielsena i własną) wynosiły odpowiednio dla osób: A — 2,2%, B — 5,5%, C — 6,6%.

W badaniach Saltina i Hermansena brało udział 7 osób: 5 mężczyzn i 2 kobiety, których dane morfometryczne podano w tabeli 3. Badane osoby wykonywały wysiłek o trzech różnych stopniach intensywności wyrażonych w % maksymalnego pochłaniania tlenu (średnio): 26,4% Vo<sub>2max</sub>, 51,3% Vo<sub>2max</sub> i 69,4 Vo<sub>2max</sub>, w temperaturze otoczenia około 20°C.

Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć m.in. wydatek energetyczny oraz temperaturę wewnętrzną (rektalną). Wydatek energetyczny został wyznaczony przez Saltina i Hermansena metodą kalorymetrii pośredniej. Dysponując masą ciała (m), wzrostem (H) i temperaturą wewnętrzną (T<sub>w</sub>) wyznaczonymi przez Saltina i Hermansena, autorzy obecnej pracy dla tych samych badanych osób (D, E, F, G, H, I, J) wyznaczyli wydatek energetyczny własną metodą. Wyniki dotyczące wydatku energetycznego wyznaczonego przez Saltina i Hermansena oraz własne zostały przedstawione w tabeli 4. oraz na rycinie 2. Różnice wyrażone w % między wydatkiem energetycznym wyznaczonymi dwoma

**Tabela 3.** Dane morfometryczne osób badanych przez Saltina i Hermansena<sup>1</sup>

**Table 3.** Morphometric data concerning persons examined by Saltin and Hermansen

Osoby Persons	Wiek [w latach] Age [years]	m [kg]	H [m]	A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> ]	Vo <sub>2max</sub> [l/min]
D	24	69,0	1,70	1,80	2,61
E	27	62,2	1,84	1,82	3,98
F	23	69,0	1,71	1,80	4,31
G	29	89,1	1,87	2,15	5,34
H	22	70,4	1,82	1,90	5,35
I	22	60,2	1,66	1,67	2,93
J	30	63,5	1,71	1,75	4,00

<sup>1</sup> Saltin B., Hermansen L.: Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. J. Appl. Physiol. 1966;21(6):1757-1762.  
Objaśnienia jak w Tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

metodami, przy różnych intensywnościach wysiłku fizycznego, wynosiły odpowiednio dla: 26,4% Vo<sub>2max</sub> — 6,3%, 51,3% Vo<sub>2max</sub> — 4,6% i 69,4 Vo<sub>2max</sub> — 2,4%.

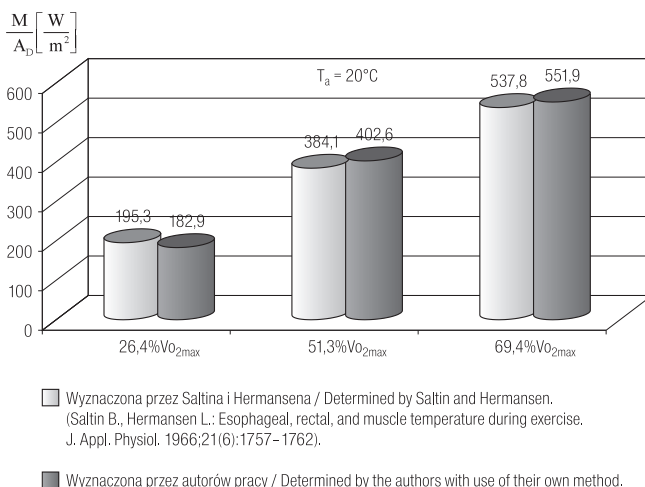
W eksperymentach Saltina, Gagge'a i Stolwijka brały udział 4 osoby, których dane morfometryczne zostały podane w tabeli 5. Osoby biorące udział w badaniach wykonywały wysiłek o trzech różnych stopniach intensywności wyrażonych w % maksymalnego pochłaniania tlenu: 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub>, 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> i 72 (62–78)% Vo<sub>2max</sub> oraz w trzech temperaturach otoczenia (T<sub>a</sub>): 10°C, 20°C, 30°C. Wykonane badania pozwoliły wyznaczyć m.in. wydatki energetyczne oraz temperatury wewnętrzne (rektalne) przy wszystkich wymienionych intensywnościach wysiłku i we wszystkich trzech temperaturach otoczenia. Wydatek energetyczny został wyznaczony przez Saltina i wsp. metodą

**Tabela 4.** Średni wydatek energetyczny przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C wyznaczony przez Saltina i Hermansena<sup>1</sup> oraz metodą własną przez autorów pracy

**Table 4.** The mean energy expenditure at different relative physical exercise loads at ambient temperature of 20°C determined by Saltin and Hermansen and by the authors with use of their own method

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym Mean physical exercise load	Vo <sub>2</sub> [l/min] średnie means	M A <sub>D</sub> [ W / m <sup>2</sup> ]	T <sub>w</sub> [°C] średnie means	m [kg] średnie means	H [m] średnie means	M* A <sub>D</sub> [ W / m <sup>2</sup> ]
26,4% Vo <sub>2max</sub>	1,07	195,3±19,3	37,41	69,1	1,76	182,9±18,1
51,3% Vo <sub>2max</sub>	2,09	384,1±37,2	38,15	69,1	1,76	402,6±38,9
69,4% Vo <sub>2max</sub>	2,82	537,8±55,0	38,65	69,1	1,76	551,9±56,4

<sup>1</sup> Saltin B., Hermansen L.: Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. J. Appl. Physiol. 1966;21(6):1757-1762.  
Objaśnienia jak w Tabeli 1 i 2 / Abbreviations as in Tables 1 and 2.



**Ryc. 2.** Średnia wartość wydatku energetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni ciała, przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C.

**Fig. 2.** The mean value of energy expenditure per one body area at different relative physical exercise loads at ambient temperature of about 20°C.

kalorymetrii pośredniej. Mając masę ciała (m), wzrost (H) i temperaturę wewnętrzną, wyznaczoną przez Saltina i wsp., autorzy obecnej pracy dla 4 tych samych badanych osób (K, L, M, N) wyznaczyli własną metodą wydatek energetyczny. Wydatek energetyczny wyznaczony przez Saltina i wsp. oraz własną metodą przy obciążeniu wysiłkiem fizycznym 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub>, w temperaturach otoczenia (T<sub>a</sub>) 10°C, 20°C, 30°C zostały przedstawione w tabeli 5. oraz na rycinie 3.

Wyniki przy obciążeniu wysiłkiem fizycznym 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> i w temperaturach otoczenia (T<sub>a</sub>) 10°C, 20°C, 30°C przedstawiono w tabeli 6. oraz na rycinie 4., a wyniki wydatku energetycznego przy najintensywniejszym obciążeniu wysiłkiem fizycznym 72 (62–78)% Vo<sub>2max</sub>, w trzech temperaturach otoczenia (T<sub>a</sub>) 10°C, 20°C, 30°C

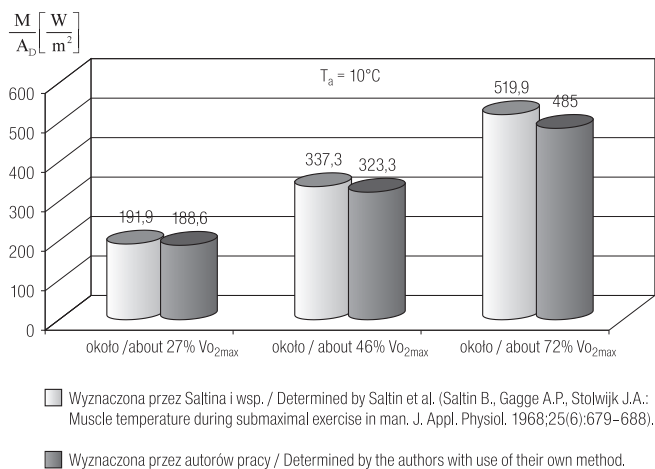
**Tabela 5.** Dane morfometryczne osób badanych przez Saltina, Gagge'a i Stolwijka<sup>1</sup>

**Table 5.** Morphometric data concerning persons examined by Saltin et al.

Osoby Persons	Wiek [w latach] Age [years]	m [kg]	H [m]	A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> ]	Vo <sub>2max</sub> [l/min]
K	23	78,5	1,81	2,00	3,87
L	21	95,5	1,84	2,20	4,20
M	23	88,0	1,84	2,13	4,38
N	32	89,5	1,87	2,18	5,17

<sup>1</sup> Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol. 1968;25(6):679-688.  
Objaśnienia jak w Tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.





Ryc. 3. Średnia wartość wydatku energetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni ciała przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym w temperaturze otoczenia 10°C.

Fig. 3. The mean value of energy expenditure per one body area at different relative physical exercise loads at ambient temperature of 10°C.

w tabeli 7. i na rycinie 5. Różnice wyrażone w % między wydatkiem energetycznym wyznaczonym dwoma metodami, przy różnych intensywnościach wysiłku fizycznego i w trzech różnych temperaturach otoczenia wynoszą odpowiednio dla:

- 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 10°C — 1,7%,
- 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 20°C — 10,8%,
- 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 30°C — 0,1%,
- 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 10°C — 4,1%,
- 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 20°C — 2,5%,
- 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 30°C — 5,4%,
- 72 (62–78)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 10°C — 6,7%,
- 72 (62–78)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 20°C — 4,1%,
- 72 (62–78)% Vo<sub>2max</sub> i T<sub>a</sub> = 30°C — 2,0%.

Oznaczając wyniki wydatku energetycznego literą Y otrzymane metodą kalorymetrii pośredniej przez Nielsena; Saltina, Hermansena; Saltina, Gagge'a i Stolwijka oraz literą X wyniki otrzymane własną metodą, przeprowadzono test istotności. Zweryfikowano hipotezę H<sub>0</sub>:  $\bar{Z} = 0$  wobec hipotezy alternatywnej H<sub>1</sub>:  $\bar{Z} \neq 0$ , gdzie  $\bar{Z}$  oznacza średnią w populacji różnic między wartościami Y i X wydatku energetycznego.

Wartość statystyki t otrzymano ze wzoru:

$$t = \frac{\bar{Z}_1}{S_z} \sqrt{n-1} = 1,005 \quad [4]$$

gdzie:

$\bar{Z}_1$  — średnia różnica,

$S_z$  — odchylenie standardowe szeregu różnic,

$n$  — liczba elementów szeregu różnic.

Przyjmując poziom istotności  $\alpha = 0,05$  oraz dla  $n - 1$  stopni swobody, wyznaczono z tablicy rozkładu t-Studenta obszar krytyczny, który wyznacza wartość

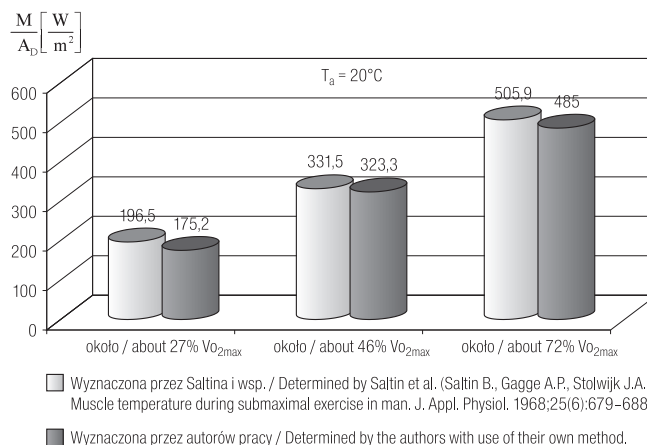
Tabela 6. Średni wydatek energetyczny w trzech temperaturach otoczenia 10°C, 20°C, 30°C, przy względnym obciążeniu wysiłkiem fizycznym 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub> wyznaczony przez Saltina, Gagge'a i Stolwijka<sup>1</sup> oraz metodą własną autorów pracy Table 6. The mean energy expenditure at three ambient temperatures, 10°C, 20°C and 30°C, at relative physical exercise load of 27 (25–30)% Vo<sub>2max</sub> determined by Saltin et al. and by the authors with use of their own method

T <sub>a</sub> [°C]	Vo <sub>2</sub> [l/min] średnie means	M/A <sub>D</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	T <sub>w</sub> [°C] średnie means	m [kg] średnie means	H [m] średnie means	M*/A <sub>D</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
10	1,17	191,9±16,7	37,50	87,9	1,84	188,6±16,4
20	1,20	196,5±13,8	37,45	87,9	1,84	175,2±13,8
30	1,15	188,4±10,1	37,50	87,9	1,84	188,6±10,1

<sup>1</sup> Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol. 1968;25(6):679–688.

T<sub>a</sub> — temperatura otoczenia / ambient temperature.

Objaśnienia jak w Tabeli 1 i 2 / Abbreviations as in Tables 1 and 2.



Ryc. 4. Średnia wartość wydatku energetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni ciała przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym w temperaturze otoczenia 20°C.

Fig. 4. The mean value of energy expenditure per one body area at different relative physical exercise loads at ambient temperature of 20°C.

Tabela 7. Średni wydatek energetyczny w trzech temperaturach otoczenia 10°C, 20°C, 30°C, przy względnym obciążeniu wysiłkiem fizycznym 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> wyznaczony przez Saltina, Gagge'a i Stolwijka<sup>1</sup> oraz własną metodą przez autorów pracy Table 7. The mean energy expenditure at the ambient temperatures of 10°C, 20°C and 30°C, at relative physical exercise load of 46 (43–53)% Vo<sub>2max</sub> determined by Saltin et al. and by the authors with use of their own method

T <sub>a</sub> [°C]	Vo <sub>2</sub> [l/min] średnie means	M/A <sub>D</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	T <sub>w</sub> [°C] średnie means	m [kg] średnie means	H [m] średnie means	M*/A <sub>D</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
10	2,06	337,3±36,3	38,00	87,9	1,84	323,3±34,8
20	2,02	331,5±28,3	38,00	87,9	1,84	323,3±27,6
30	2,02	331,5±27,6	38,01	87,9	1,84	350,3±29,2

<sup>1</sup> Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol. 1968;25(6):679–688.

T<sub>a</sub> — temperatura otoczenia / ambient temperature.

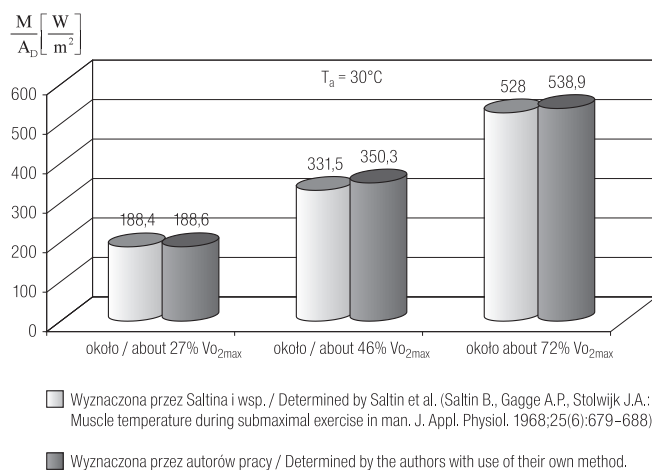
Objaśnienia jak w Tabeli 1 i 2 / Abbreviations as in Tables 1 and 2.

**Tabela 8.** Średni wydatek energetyczny w trzech temperaturach otoczenia 10°C, 20°C, 30°C przy względnym obciążeniu wysiłkiem fizycznym 72 (62–78)%  $Vo_{2max}$  wyznaczone przez Saltina, Gagge'a i Stolwijk'a<sup>1</sup> oraz metodą własną autorów pracy

**Table 8.** The mean energy expenditure at three ambient temperatures of 10°C, 20°C and 30°C, at relative physical exercise load of 72 (62–78)%  $Vo_{2max}$  determined by Saltin et al. and by the authors with use of their own method

$T_a$ [°C]	$Vo_2$ [l/min] średnie means	$\frac{M}{A_D}$ [ $\frac{W}{m^2}$ ]	$T_w$ [°C] średnie means	$m$ [kg] średnie means	$H$ [m] średnie means	$\frac{M^*}{A_D}$ [ $\frac{W}{m^2}$ ]
10	3,17	519,9±44,3	38,6	87,9	1,84	485,0±41,3
20	3,09	505,9±42,7	38,6	87,9	1,84	485,0±40,9
30	3,18	528,0±38,0	38,8	87,9	1,84	538,9±39,7

<sup>1</sup> Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 1968;25(6):679–688.  
Objaśnienia jak w Tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.



**Ryc. 5.** Średnia wartość wydatku energetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni ciała przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym w temperaturze otoczenia 30°C.  
**Fig. 5.** The mean value of energy expenditure per one body area at different relative physical exercise loads at ambient temperature of 30°C.

$t_\alpha = 2,145$ . Ponieważ  $t = 1,005 < 2,145 = t_\alpha$ , nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ . Oznacza to, że obie metody wyznaczania wydatku energetycznego dają wyniki nieróżniące się istotnie, a występujące różnice można wyjaśnić przypadkiem.

Poza tym wyznaczono współczynnik korelacji (2) między wartościami Y i X wydatku energetycznego:  $r = 0,9895$ . Przeprowadzono test istotności dla wyznaczonego współczynnika korelacji. Sprawdzono hipotezę  $H_0: \rho = 0,95$ , wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \rho > 0,95$ . Wartość statystyki u obliczono ze wzoru:

$$U = \left[ 1,15131 \log \frac{1+r}{1-r} - 1,15131 \log \frac{1+\rho_0}{1-\rho_0} - \frac{\rho_0}{2(n-1)} \right] \sqrt{n-3} = 2,62 \quad [5]$$

Z tablicy  $N(0,1)$  znaleziono dla przyjętego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  krytyczną wartość  $U_\alpha = 1,64$  dla prawostronnego obszaru krytycznego.

Ponieważ  $u = 2,62 > 1,64 = U_\alpha$ , zatem hipotezę  $H_0$  należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej  $H_1$ . Oznacza to, że wartość współczynnika korelacji między wartościami X i Y wydatku energetycznego jest istotnie większa od wartości 0,95.

## OMÓWIENIE

Omówione wyżej wyniki oraz przeprowadzony test istotności dla otrzymanych wyników dowodzą, że obie metody wyznaczania wydatku energetycznego dają wyniki nieróżniące się istotnie, a występujące różnice można wyjaśnić przypadkiem.

Współczynnik korelacji między wynikami wydatku energetycznego wyznaczonego przez innych autorów metodą kalorymetrii pośredniej (Y) oraz własną metodą (X) oraz przeprowadzony dla tego współczynnika test istotności wykazuje, że współczynnik korelacji między wynikami Y i X jest istotnie większy od wartości 0,95.

Opracowana własna metoda wyznaczania wydatku energetycznego pozwala w prosty i dokładny sposób wyznaczyć ten ważny parametr fizjologiczny. Dotychczas w literaturze nie opisano podobnych metod. Opracowana własna metoda może być alternatywna do obecnie stosowanych metod: kalorymetrii bezpośredniej, pośredniej i metod tabelarycznych.

Pomiary wydatku energetycznego stosowane są w celu określenia obciążenia organizmu człowieka przy wykonywaniu różnych czynności pracy zawodowej, w sporcie, rehabilitacji itp. (1,3,5,12). Wydatek energetyczny wiąże się ściśle z bilansem energetycznym człowieka. Bilans energetyczny oznacza różnicę między ilością energii uzyskiwanej przez organizm w postaci przyswajalnych składników energetycznych a wydatkiem energetycznym, czyli ilością energii wydatkowanej przez ustrój w określonym czasie. Bilans energetyczny jest:

- wyrównany, kiedy obie strony są równe (praktycznie, kiedy różnice między nimi nie przekraczają 200 kJ/24 h),
- dodatni, gdy wartości energetyczne spożywanego pokarmu przekraczają wydatek energetyczny,
- ujemny w sytuacji odwrotnej (6).

W utrzymaniu równowagi bilansu energetycznego człowieka znaczenie ma:

- dostosowanie spożycia pokarmu do wydatku energetycznego,
- modyfikowanie wydatku energetycznego stosownie do odżywiania.

Działanie tego ostatniego mechanizmu można stwierdzić w warunkach:

- niedożywienia,
- przekarmienia.

Niedożyczenie powoduje zmniejszenie masy ciała, spoczynkowej przemiany materii, wydatku energetycznego związanego z pracą mięśniową, (w wyniku zmniejszenia masy mięśniowej) oraz tendencję do ograniczenia aktywności ruchowej (reakcja behawioralna) (4,6,13–16).

Zmniejszenie spoczynkowej przemiany materii w warunkach deficytu energetycznego jest w znacznym stopniu wynikiem zmniejszenia masy ciała, w tym masy tkanek metabolicznie aktywnych (6,14,17). Poza tym zachodzi zmniejszenie wydatku energetycznego na trawienie pokarmów i składowanie substratów energetycznych oraz zmniejszenie syntezy białek ustrojowych. Ten ostatni czynnik ma szczególnie duże znaczenie u dzieci i młodzieży, u których niedożyczenie powoduje zahamowanie rozwoju psychicznego i somatycznego (13,15,16).

Przekarmienie powoduje: 1. nadmierne zwiększenie masy ciała poprzez nadmiar tkanki tłuszczowej, co prowadzi do otyłości, 2. wzrost spoczynkowej przemiany materii, 3. zwiększenie wydatku energetycznego związanego z pracą mięśniową, 4. wystąpienie skłonności do ograniczania aktywności ruchowej, 5. zwiększenie się termogenezy (6,18–20). Do najgroźniejszych skutków otyłości zalicza się zwiększenie prawdopodobieństwa zachorowania na chorobę wieńcową, nadciśnienie tętnicze, cukrzycę, kamicy pęcherzykową itp. (6,19). Niezależnie od pierwotnej przyczyny otyłość jest zawsze następstwem długotrwałego utrzymywania się dodatniego bilansu energetycznego organizmu, tzn. że wydatek energetyczny organizmu jest mniejszy od ilości energii zawartej w przyjmowanych pokarmach.

Praca nawet o dużym wydatku energetycznym nie ma szkodliwych skutków, jeżeli będzie równomiernie rozłożona w czasie całej zmiany roboczej, a straty energetyczne będą uzupełnione poprzez dostarczanie organizmowi energii w postaci pożywienia. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie profilaktycznych posiłków i napojów pracodawca zapewnia pracownikom w zależności od wa-

runków pracy nieodpłatnie posiłek w formie gorącego dania i napoje (3).

Należy podkreślić, że wydatek energetyczny człowieka jest ważnym parametrem służącym do ilościowej oceny energetycznej wykonywanej pracy, jest ściśle związany z bilansem energetycznym człowieka oraz może służyć do oceny stopnia niedożywienia i przekarmienia człowieka.

## WNIOSKI

1. Opracowano własną metodę wyznaczania wydatku energetycznego w funkcji temperatury wewnętrznej, masy ciała i wzrostu człowieka.
2. Wyniki wydatku energetycznego człowieka otrzymane metodą własną i metodą kalorymetrii pośredniej u tych samych badanych osób nie wykazują istotnych różnic statystycznych.
3. Opracowana własna metoda wyznaczania wydatku energetycznego może być alternatywna w stosunku do obecnie stosowanych metod wyznaczania tego wydatku.

## PIŚMIENNICTWO

1. Fibiger W., Rogoziński A.: Koszt energetyczny pracy. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1977
2. Szubert J.: Biofizyczne aspekty termoregulacji w organizmie człowieka [praca doktorska]. WAM, Łódź 1980
3. Uzarczyk A.: Czynniki szkodliwe i uciążliwe w środowisku pracy. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 2006
4. Greenleaf J.E., Castle B.L., Card D.H.: Blood electrolytes and temperature regulation during exercise in man. *Acta Physiol. Pol.* 1974;25(5):397–410
5. Klonowicz S.: Metody badań fizjologicznych w zakładzie przemysłowym. PZWL, Warszawa 1970
6. Kozłowski S., Nazar K. [red.]: Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. PZWL, Warszawa 1999
7. Traczyk W.Z., Trzebski A. [red.]: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. PZWL, Warszawa 2003
8. Szubert J.: Nieuciążliwe metody wyznaczania ilości pochłoniętego tlenu i wydatku energetycznego organizmu człowieka. *Med. Sport.* 1998;1:66
9. Nielsen B.: Thermoregulation during work in carbon monoxide poisoning. *Acta Physiol. Scand.* 1971;82(1):98–106
10. Saltin B., Hermansen L.: Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1966;21(6):1757–1762
11. Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A.: Muscle temperature during submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 1968;25(6):679–688

12. Mann D.V., Ho C.S., Critchley L. Fok B.S., Pang E.W., Lam C.W. i wsp.: Affordable measurement of human total energy expenditure and body composition using one — tenth dose doubly labeled water. *Int. J. Obes.* 2007;31(5):751–755
13. Cornelio-Nieto J.O.: The effects of protein-energy malnutrition on the central nervous system in children. *Rev. Neurol.* 2007;44(Supl. 2):S71–S74
14. El-Sayed H.L., Nassar M.F., Habib N.M., Elmasry O.A., Gomaa S.M.: Structural and functional affection of the heart in protein energy malnutrition patients on admission and after nutritional recovery. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2006;60(4):502–510
15. Emery P.W.: Metabolic changes in malnutrition. *Eye* 2005;19(10):1029–1034
16. Müller O., Krawinkel M.: Malnutrition and health in developing countries. *Can. Med. J.* 2005;173(3):279–286. DOI: 10.1503/cmaj.050342
17. Hall KD.: Computational model of in vivo human energy metabolism during semistarvation and refeeding. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2006;291:E23–E37
18. Hanning R.M., Woodruff S.J., Lambraki I., Jessup L., Driessen P., Murphy C.C.: Nutrient intakes and food consumption patterns among Ontario students in grades six, seven, and eight. *Can. J. Public. Health* 2007;98(1):12–16
19. Tappy L.: Metabolic consequences of overfeeding in humans. *Curr. Opin. Nutr. Metab. Care* 2004;7(6):623–628
20. Bessesen D.H., Bull S., Cornier M.A.: Trafficking of dietary fat and resistance to obesity. *Physiol. Behav.* 2008;94(5):681–688