

Sylwia MILCZARCZYK  
Bożena CZARKOWSKA-PĄCZEK

## Porównanie i ocena powtarzalności testu marszu i testu na cykloergometrze dla wyznaczenia pułapu tlenowego

Comparison and the repeatability of Astrand-Ryhming nomogram cycle ergometer protocol and Kline's walking test for maximal oxygen uptake prediction

Zakład Biofizyki i Fizjologii Człowieka  
Warszawski Uniwersytet Medyczny  
Kierownik Zakładu:  
Prof. dr hab. n. med. Jacek Przybylski

**Dodatkowe słowa kluczowe:**  
pułap tlenowy  
nomogram Astrand-Ryhming  
test marszu wg Kline'a

**Additional key words:**  
maximal oxygen uptake  
Astrand-Ryhming nomogram  
Kline walking test

Celem pracy jest porównanie oraz ocena powtarzalności dwóch testów pośrednich do oceny  $VO_2\max$  - testu marszu oraz testu na cykloergometrze Astrand-Ryhming. Badaniem objęto 15 studentek w wieku od 20 do 25 lat. Każdy z testów przeprowadzono dwukrotnie w kilkudniowym odstępie czasu. Średnia wartość  $VO_2\max$  (ml/min/kg) w teście marszu, w pierwszej serii wynosiła  $59,46 \pm 3,16$ , w drugiej serii  $59,99 \pm 3,36$ , natomiast w teście na cykloergometrze w pierwszej serii  $41,75 \pm 6,91$ , a drugiej  $42,18 \pm 6,09$ . Współczynnik zmienności wynosił odpowiednio 5,31 i 5,6 oraz 16,54 i 14,43. Ocena metodą Blind-Altmana wykazała przydatność obu testów do oceny  $VO_2\max$ . Nie wykazano korelacji pomiędzy wynikami uzyskanymi w obu testach. Wyniki uzyskane w teście na cykloergometrze wykazywały korelację z BMI badanych. Oba testy mogą być stosowane do oceny  $VO_2\max$ , jednak w teście marszu wykazano większą precyzję badania. W tej sytuacji wydaje się zasadne zalecanie stosowania tego testu w celu przybliżonej oceny wydolności fizycznej, szczególnie w przypadkach gdy zastosowanie wysiłków maksymalnych może stanowić zagrożenie. Jednocześnie nie zaleca się stosowania zamiennie obu testów u tej samej osoby w celu badania zmian w  $VO_2\max$ .

The aim of the study was to compare and investigate the repeatability of two tests for predicting the maximal oxygen uptake: the Kline's walking test and the Astrand-Ryhming nomogram cycle ergometer protocol. Both tests were performed twice on separate days by 15 female students aged 20-25. Medium value of  $VO_2\max$  (ml/min/kg) in the walking test was in first trial  $59.46 \pm 3.16$ , and in second  $59.99 \pm 3.36$ , and in Astrand-Ryhming nomogram cycle ergometer protocol in first trial  $41.75 \pm 6.91$ , and in second  $42.18 \pm 6.09$ . The coefficient of variation was 5.31 and 5.6 in first and second trials of walking test, and 16.54 and 14.43 in first and second trial of Astrand-Ryhming nomogram cycle ergometer protocol. Blind-Altman diagram showed that both tests are acceptable for maximal oxygen uptake prediction. There was no correlation between both tests, and in Astrand-Ryhming nomogram cycle ergometer protocol there was correlation between  $VO_2\max$  and BMI. The results showed that both tests could be used for prediction of  $VO_2\max$ ; however the repeatability and precision was better in the walking test, which could be recommended for  $VO_2\max$  prediction, especially in the situation when submaximal tests are preferable. It is not recommended to apply various tests in the same person to detect the changes in  $VO_2\max$ .

### Wstęp

Wydolność fizyczną definiuje się jako zdolność do długotrwałych i wyczerpujących wysiłków fizycznych, a także do likwidacji zmian w metabolizmie będących wynikiem tego wysiłku. Maksymalne pobieranie tlenu ( $VO_2\max$ ) podczas wysiłku fizycznego, zwane inaczej pułapem tlenowym jest powszechnie akceptowanym parametrem oceniającym wydolność fizyczną tlenową. [1]

Ocena wydolności tlenowej jest bardzo ważna z wielu powodów. Ma istotne znaczenie w medycynie pracy w celu oceny możliwości kandydatów do wykonywania określo-

nych zadań oraz przy podejmowaniu decyzji o powrocie do pracy po okresie choroby i rekonwalescencji. Jest również niezwykle ważnym parametrem w rehabilitacji, a także w sporcie wyczynowym, stanowi bowiem podstawę do oceny postępów rehabilitacji i treningu, głównie wytrzymałościowego i szybkościowego.

Wielkość wydolności fizycznej pozwala oszacować ryzyko wystąpienia chorób układu krążenia – jest ono tym większe im mniejsza jest wydolność fizyczna. Zasada ta dotyczy osób dorosłych oraz dzieci i młodzieży [2-5].

Adres do korespondencji:  
Dr n. med. Bożena Czarkowska-Pączek  
Zakład Biofizyki i Fizjologii Człowieka  
02-004 Warszawa, ul. Chałubińskiego 5  
Fax/Tel.: + 48 22 628 78 46  
Tel.: + 48 22 628 63 34  
e-mail: dom\_paczek@o2.pl

Ocena  $VO_2\max$  może być dokonana zarówno metodami bezpośrednimi jak i pośrednimi. Metody bezpośrednie wymagają przeprowadzenia prób wysiłkowych z zastosowaniem wysiłku maksymalnego. Powtarzalność wyników w tego rodzaju testach określona współczynnikiem zmienności jest bardzo duża, ale wykonanie ich wymaga specjalistycznego laboratorium, drogiego sprzętu i wykwalifikowanych pracowników, co bardzo ogranicza ich praktyczne zastosowanie. [6]

Badanie wydolności tlenowej metodami pośrednimi jest stosunkowo proste, nie wymaga specjalistycznego oprzyrządowania, a w próbach wysiłkowych stosuje się wysiłki submaksymalne. Opracowano wiele testów i nomogramów, na podstawie których szacuje się wielkość maksymalnego poboru tlenu. W większości przypadków szacunki te opierają się na założeniu, że istnieje liniowa zależność pomiędzy intensywnością wysiłku a częstością tętna, jak również pomiędzy aktualnym poborem tlenu i częstością tętna, a ponad to, że maksymalne tętno u osoby badanej odpowiada  $VO_2\max$  i wynosi  $220 - \text{wiek}$ . [5, 7] Niewielkie błędy w powyższych założeniach mogą się sumować i powodować, że oszacowana wartość  $VO_2\max$  wykazuje jednak błąd w stosunku do wartości rzeczywistej.

W ostatnich latach stwierdzono, że wartość  $VO_2\max$  oszacowana podczas testów wysiłkowych submaksymalnych o stopniowanej intensywności (GXT, graded exercise test) z wykorzystaniem 20-stopniowej skali Borga oceniającej subiektywne odczucie ciężkości wysiłku (RPE, *rating of perceived exertion*) nie wykazuje znamiennej statystycznie różnicy w stosunku do wartości rzeczywistej  $VO_2\max$  [8,9].

Celem niniejszej pracy jest porównanie oraz ocena powtarzalności dwóch testów pośrednich oceniających  $VO_2\max$  - testu marszu na dystansie 1609 m opracowanego przez Kline'a i wsp. [11] oraz standardowego testu na cykloergometrze w oparciu o nomogram Astrand-Ryhming [10]. Test marszu ma duże zastosowanie praktyczne, bowiem nie wymaga żadnego dodatkowego sprzętu badawczego.

### Material i metody

Badaniem objęto 15 studentek w wieku od 20 do 25 lat, które nie miały przeciwwskazań do wysiłku fizycznego.

Na wykonanie badania uzyskano zgodę Komisji Etycznej przy Akademii Medycznej w Warszawie, a wszystkie uczestniczki badania poinformowano o celu badania i ewentualnych zagrożeniach przed uzyskaniem ich uświadomionej zgody.

Oba testy przeprowadzono w godzinach przedpołudniowych, w czasie 3-5 godzin po spożyciu lekkostrawnego posiłku.

Każdy z testów przeprowadzono dwukrotnie w kilkunastym odstępie czasu.

### Rycina 2

Zestawienie wyników testu marszu (A) i testu na cykloergometrze (B) w pierwszej i drugiej serii badania wg rosnących wartości testu marszu.

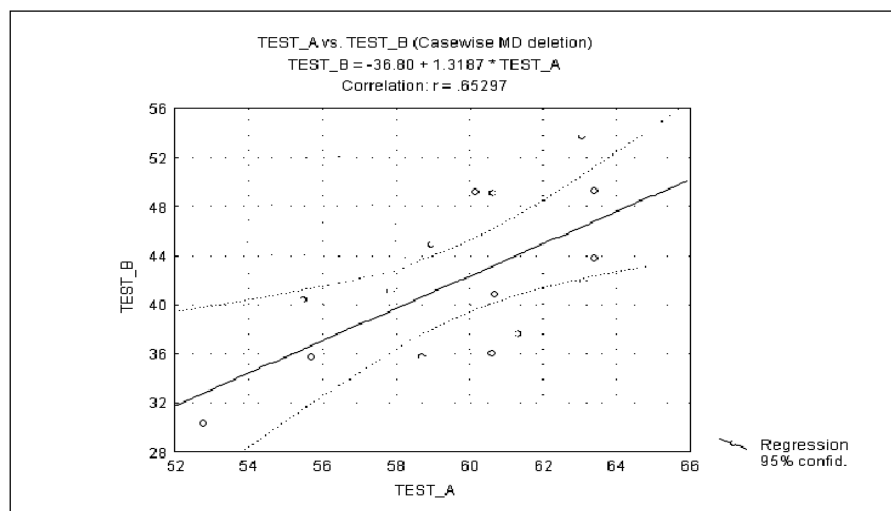
Comparison of values of  $VO_2\max$  estimated in Kline's walking test (test A) and Astrand-Ryhming cycle ergometer test (test B) according to increasing values estimated in Kline's walking test in both series.

Tabella I

Wartości  $VO_2\max$  obliczone w teście marszu (A) i teście na cykloergometrze (B) oraz współczynnik zmienności wyznaczone dla obu testów.

Values of  $VO_2\max$  estimated in Kline's walking test (test A) and Astrand-Ryhming cycle ergometer test (test B) and the coefficient of variation for both tests.

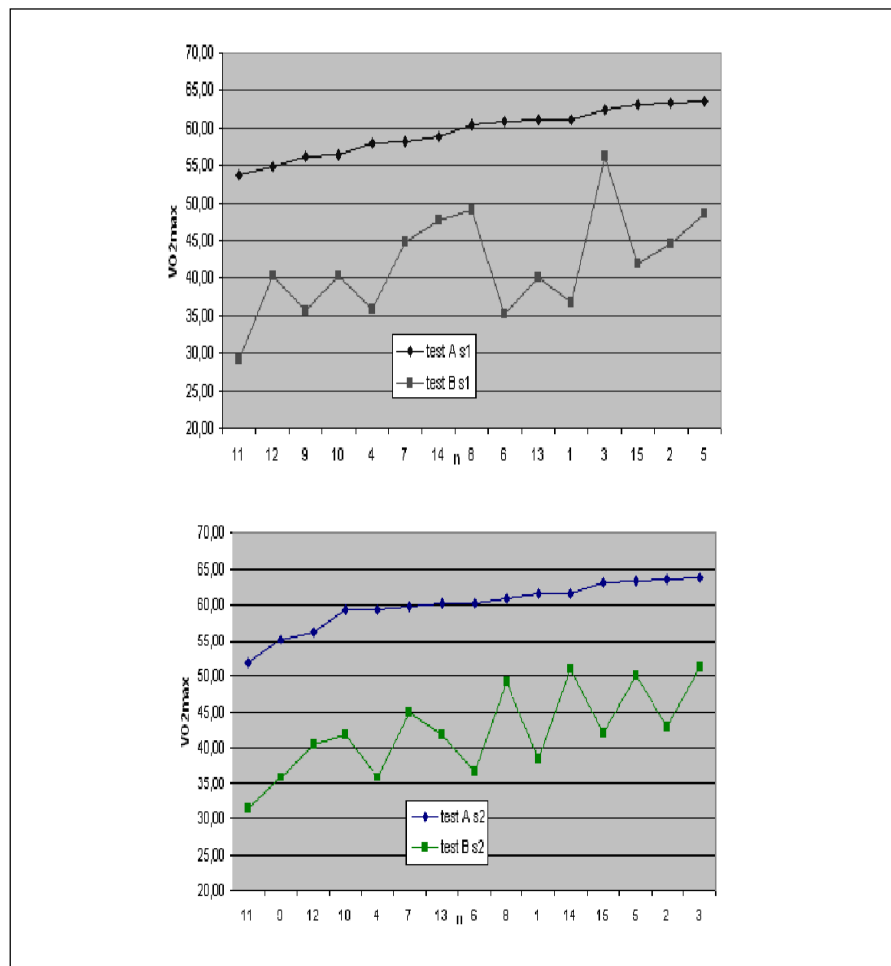
Test	Seria	$VO_2\max$ z serii (ml/kg/min <sup>-1</sup> )	$VO_2\max$ z metody (ml/kg/min <sup>-1</sup> )	CV% z serii	CV% z metody
test marszu (A)	seria I	59,46 ± 3,16	59,73 ± 3,21	5,31	5,38
	seria II	59,99 ± 3,36		5,60	
test na cykloergometrze (B)	seria I	41,75 ± 6,91	41,97 ± 6,4	16,54	15,25
	seria II	42,18 ± 6,09		14,43	

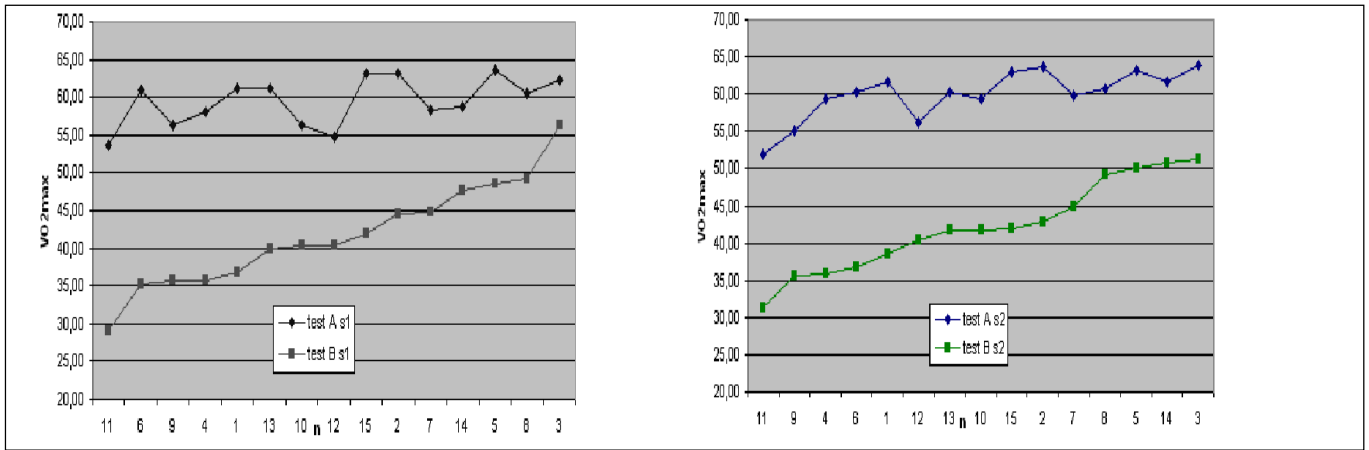


Rycina 1

Korelacji pomiędzy testem marszu (A) i testem na cykloergometrze (B). Nie stwierdza się korelacji pomiędzy tymi testami.

Correlation between Kline's walking test (test A) and Astrand-Ryhming cycle ergometer test (test B). There is no correlation between both tests.

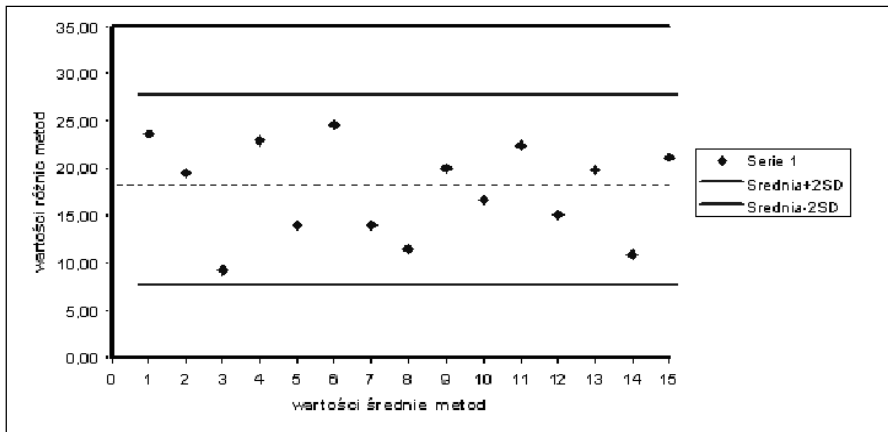




Rycina 3

Zestawienie wyników testu marszu (A) i testu na cykloergometrze (B) w pierwszej i drugiej serii badania wg rosnących wartości testu na cykloergometrze.

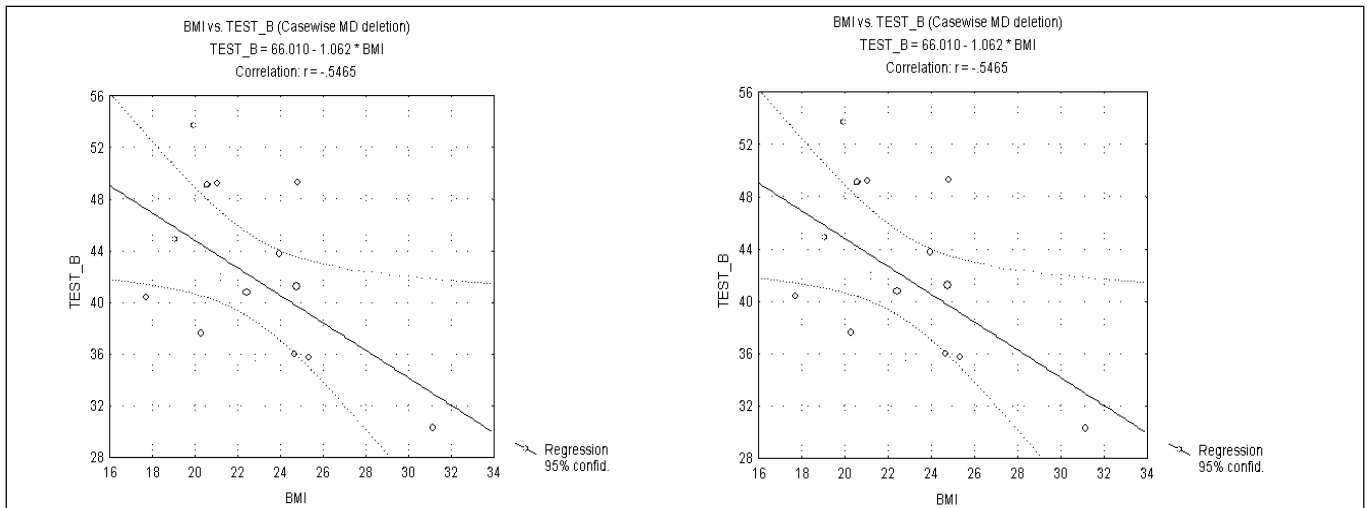
Comparison of values of  $VO_{2max}$  estimated in Kline's walking test (test A) and Astrand-Ryhming cycle ergometer test (test B) according to increasing values estimated in Astrand-Ryhming cycle ergometer test in both series.



Rycina 4

Ocena testu marszu i testu na cykloergometrze metodą Bland-Altmana.

Bland-Altman diagram.



Rycina 5

Korelacja  $VO_{2max}$  i BMI w teście marszu (A) i teście na cykloergometrze (B). W teście na cykloergometrze stwierdzono korelację z BMI ( $p=0,035$ ).

Correlation between Kline's walking test (test A) and BMI and between Astrand-Ryhming cycle ergometer test (test B) and BMI. There is correlation between Astrand-Ryhming cycle ergometer test and BMI ( $p=0.035$ ).

#### Test marszu

Test marszu przeprowadzono na korytarzu Wojewódzkiego Szpitala Bródnowskiego w Warszawie. Był on poprzedzony rozgrzewką polegającą na 5-minutowym chodzie z prędkością 4 km/h, po czym, po 2-minutowej przerwie przystąpiono do właściwego badania polegającego na przejściu 1609 m w jak najkrótszym czasie. Prędkość marszu badane dostosowywały indywidualnie do aktualnych możliwości, zawsze jednak był to marsz, a nie trucht, czy bieg. Wartość tętna rejestrowano w odstępach 1-minutowych podczas całego badania (pulsometr Kettler). Średnią wartość tętna z dwóch ostatnich minut użyto do wyliczenia  $VO_{2max}$  według poniższego

wzoru:

$$VO_{2max} = 132.853 - (0.0769 \times \text{waga}) - (0.3877 \times \text{wiek}) + (6.315 \times G) - (3.2649 \times T) - (0.1565 \times HR_{sub}) [6]$$

gdzie:

G - współczynnik zależny od płci, dla kobiet wynosi 2

$HR_{sub}$  - średnia wartość tętna z dwóch ostatnich

minut trwania chodu

T - czas przejścia 1609 m

waga - wyrażona w funtach

wiek - wyrażony w latach

**Test na cykloergometrze**

Test na cykloergometrze (AX1, Kettler) przeprowa-

dzono w Zakładzie Biofizyki i Fizjologii Człowieka WUM.

Był on poprzedzony rozgrzewką polegającą na 5-minutowym wysiłku fizycznym na cykloergometrze przy obciążeniu 25 W i częstotliwości pedałowania 60 obrotów/minutę, po czym, po 2-minutowej przerwie rozpoczęto właściwe badanie, które polegało na 8-minutowym wysiłku z obciążeniem zewnętrznym 100 W i częstotnością pedałowania 60 obrotów/minutę. Częstotność skurczów serca badanych zawierała się w przedziale 120-170/minutę.

Wartość tętna rejestrowano w odstępach 1-minutowych podczas całego badania (pulsometr Kettler). Średnią wartość tętna z trzech ostatnich minut użyto do wyliczenia  $VO_{2max}$  z nomogramu Astrand-Ryhming.

### Metody statystyczne

Powtarzalność wyników w poszczególnych testach oceniono wyznaczając odchylenie standardowe (SD) oraz współczynnik zmienności (CV).

Wyniki otrzymane w obu testach porównano stosując analizę regresji *Pearsona* oraz diagram *Bland-Altmana* [12,13].

### Wyniki

Wartości  $VO_2\max$  oraz współczynnik zmienności obliczone w obu testach przedstawiono w tabeli I.  $VO_2\max$  oznaczone dwoma porównywanymi testami wykazują znaczne różnice. Wartość odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności wskazuje na lepszą powtarzalność testu marszu w stosunku do testu na cykloergometrze.

Nie wykazano korelacji pomiędzy oboma testami ( $r=0,653$ ,  $n=15$ ) Wyniki przedstawiono na rycinie 1.

Różnice w wartościach  $VO_2\max$  wyliczonych w teście marszu i teście na cykloergometrze nie są stałe i nie stwierdzono, aby wraz ze wzrostem wartości mierzonych jedną metodą rosły również wartości wyliczone drugą metodą (rycina 2 i 3).

W diagramie *Bland-Altmana* wszystkie wyniki mieszczą się w zakresie  $\pm$  dwa odchylenia standardowe, co oznacza, że oba testy mogą służyć ocenie  $VO_2\max$  (rycina 4).

Wartości  $VO_2\max$  wyznaczone w teście na cykloergometrze wykazały ponadto korelację z BMI (*Body Mass Index*),  $p=0,035$ , czego nie wykazano w teście A,  $p=0,228$ . (rycina 5).

### Dyskusja

Porównując dwa testy służące wyliczeniu  $VO_2\max$  metodami pośrednimi stwierdzono, że oba testy spełniają warunki określające ich przydatność do tego typu wyliczeń, jednak wyniki uzyskane w teście marszu i teście na cykloergometrze wykazywały znaczne różnice, co łącznie z brakiem korelacji pomiędzy tymi testami wskazuje na błąd pomiaru w stosunku do wartości rzeczywistych  $VO_2\max$ . Ponad to nie stwierdzono, aby wraz ze wzrostem wartości oznaczonych w jednym teście, wzrastały także wartości oszacowane w drugim teście.

Badania porównujące wartości rzeczywiste  $VO_2\max$  do oszacowanych w teście *Astrand-Ryhming* wykonane przez *Ratajczyk-Drobną* wykazały, że wartości oszacowane są statystycznie znacznie niższe w stosunku do rzeczywistych przy obciążeniach 100, 150 i 200 W, a porównywalne jedynie podczas stosowania w teście obciążenia 250 W [14].

Podobne wyniki otrzymał *Cooper* i wsp., którzy badali zbieżność  $VO_2\max$  oszacowanych w wielostopniowym teście wydolności fizycznej (20 m *multistage fitness test*, MFT) i wyznaczonych metodą bezpośrednią. Wartości oszacowane były znacznie niższe, a błąd pomiaru wynosił 3,1%. [4] W innych badaniach stwierdzono, że oszacowana metodą pośrednią wielkość  $VO_2\max$  była wyższa niż rzeczywista, ale różnica pomiędzy obiema wartościami również wykazywała znamienność statystyczną. [15] W tej sytuacji nie rekomenduje się wykonywania testów pośrednich w przypadku, gdzie dużą rolę odgrywa znajomość faktycznej wydolności tlenowej, na przykład podczas bada-

nia kandydatów do pracy fizycznej lub zawodowych sportowców. [5]

Z drugiej jednak strony wyniki uzyskane w przedstawionym badaniu wskazują, że powtarzalność wyników jest duża, szczególnie w teście marszu. Powtarzalność oznaczono obliczając zarówno odchylenie standardowe, jak i współczynnik zmienności, który jest uniwersalnym miernikiem precyzji. W tej sytuacji wydaje się zasadne zalecanie stosowania testu marszu w celu przybliżonej oceny wydolności fizycznej, szczególnie w przypadkach gdy zastosowanie wysiłków maksymalnych może stanowić zagrożenie. Precyzja badania pozwala na ocenę postępów rehabilitacji, czy zmiany wydolności spowodowanej innymi czynnikami, na przykład postępem choroby, jak również na ustalenie zaleceń dotyczących ćwiczeń rehabilitacyjnych. Dodatkową zaletą prezentowanego testu marszu jest możliwość jego wykonania w sytuacji, gdy nie ma dostępu do specjalistycznego sprzętu. Badania kliniczne wykazały, że porównanie wielkości  $VO_2\max$  oszacowanej w warunkach laboratoryjnych przy użyciu bieżni elektrycznej nie wykazywały znamiennej statystycznie różnicy w stosunku do wielkości  $VO_2\max$  wyznaczonej w czasie testów w warunkach naturalnych [16].

Opisany w 1954 roku nomogram *Astrand-Ryhming* do wyznaczania  $VO_2\max$  pozwala na ocenę wydolności tlenowej, ale w naszych badaniach precyzja tego testu była mniejsza niż testu marszu. Z uwagi na znaczące różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w obu testach, nie zaleca się zamiennego ich stosowania do oceny  $VO_2\max$ . Przybliżona ocena wydolności tlenowej, a zwłaszcza jej zmiany w efekcie zastosowanej rehabilitacji, treningu, jak również postępu choroby mogą być z powodzeniem oceniane testami pośrednimi, ale zawsze tym samym testem wykonywanym w porównywalnych warunkach.

W teście opartym na nomogramie *Astrand-Ryhming* stwierdzono korelację  $VO_2\max$  z BMI. Badanie zależności  $VO_2\max$  od masy ciała nie są często wykonywane, szczególnie wśród młodzieży. Wykazano jednak, że  $VO_2\max$  w grupie młodych osób otyłych jest niższe w porównaniu do grupy o prawidłowej masie ciała, jeśli wartości  $VO_2\max$  wyrazi się w odniesieniu do masy ciała ( $ml/kg/min^{-1}$ ). Jeśli jednak wartość  $VO_2\max$  przeliczy się na beztłuszczową masę ciała, to wówczas wartości  $VO_2\max$  są wyższe w grupie otyłych. [17] W innych badaniach potwierdzono zależność  $VO_2\max$  od masy ciała ( $ml/kg/min^{-1}$ ), natomiast nie wykazano różnic pomiędzy grupami po przeliczeniu wartości  $VO_2\max$  na beztłuszczową masę ciała [18]. Wynika z tego, że masa ciała nie ma wpływu na możliwości utylizacji tlenu przez tkanki, natomiast osoby otyłe często wykazują mniejszą aktywność fizyczną, przekładającą się na mniejsze  $VO_2\max$ .

$VO_2\max$  jako wskaźnik wydolności tlenowej wprowadzono w latach 20-tych poprzedniego wieku, jednak dotąd nie określono ścisłych kryteriów oceny tego parametru. Powinny one być niezależne od charakterystyki osoby badanej, zastosowanego protokołu i rodzaju ćwiczeń fizycznych. Konieczne są zatem dalsze badania nad za-

gadnieniem wydolności tlenowej prowadzące do wdrożenia standardowych metod jej oceny [19].

### Piśmiennictwo

1. **Kaciuba-Uściłko H., Kozłowski S., Nazar K.:** Podłoże fizjologiczne wydolności fizycznej i tolerancji wysiłkowej, w: *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, red. Kozłowski S., Nazar K., PZWL, Warszawa, 1999, wyd. III: 321-326.
2. **Hasselstrom H., Hansen S.E., Froberg K. et al.:** Physical fitness and physical activity during adolescence as predictors of cardiovascular disease risk in young adulthood. Danish Youth and Sports Study. An eight-year follow-up study. *Int. J. Sports Med.* 2002, 23, (Suppl. 1), S27.
3. **Wedderkopp N., Froberg K., Hansen H.S. et al.:** Secular trends in physical fitness and obesity in Danish 9-year-old girls and boys: Odense School Child Study and Danish substudy of the European Youth Heart Study. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2004, 14, 150-155.
4. **Cooper S.M., Baker J.S., Tong R.J. et al.:** The repeatability and criterion related validity of the 20 m multistage test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *Br. J. Sports Med.* 2005, 39, e19.
5. **Buckley J.P., Sim J., Session R.G. et al.:** Reliability and validity of measures taken during the Chester step to predict aerobic Power and to prescribe aerobic exercise. *Br. J. Sport Med.* 2004, 38, 197.
6. **Howley E.T., Bassett D.R., Welch H.G.:** Criteria for maximal oxygen uptake: revivie and commentary. *Med. Sci. Sport Exerc.* 1995, 27, 1292.
7. **Uth N., Sorensen H., Overgaard K et al.:** Estimation of  $VO_2\max$  from the ratio between HRmax and HRrest - the Heart Rate ratio Method. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004, 91, 111.
8. **Faulkner J., Parfitt G., Eston R.:** Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007, 101, 397.
9. **Eston R.G., Lamb K.L., Parfitt G. et al.:** The validity of predicting maximal oxygen uptake from a perceptually-regulated graded exercise test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2005, 94, 221.
10. **Astrand P.O., Ryhming I.:** A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J. Appl. Physiol.* 1954, 7, 218.
11. **Baldwin K.M., Brooks G.A., Fahey T.D.:** Exercise testing and prescription. [W:] *Exercise physiology; Human bioenergetics and its applications*, red. Baldwin K. M., Brooks G. A, Fahey T. D., Mc Graw Hill, 2005, wyd. IV: 681-717.
12. **Zochowska D., Bartłomiejczyk I., Kaminska A. et al.:** High-performance liquid chromatography versus immunoassay for the measurement of sirolimus: comparison of two methods. *Transplantation Proceedings* 2006, 38, 78.
13. **Bland J.M., Altman D.G.:** Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986, 8, 307.
14. **Ratajczyk-Drobną E.:** Measured and predicted oxygen uptake in highly qualified athletes. *Ann. Acad. Med. Stetin.* 1995, 41, 87.
15. **Chatterjee S., Chatterjee P., Bandyopadhyay A.:** Validity of Quin's College Step test for estimation of maximum oxygen uptake in female students. *Indian. J. Med. Res.* 2005, 121, 32.
16. **Meyer T., Welter J.P., Scharhag J. et al.:** Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2003, 88, 387.
17. **Stensel D.J., Lin F.P., Ho T.F. et al.:** Serum lipids, serum insulin, plasma fibrinogen and aerobic capacity in obese and non-obese Singaporean boys. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 2001, 25, 984.
18. **Ekelund U., Franks P.W., Wareham N.J. et al.:** Oxygen uptakes adjusted for body composition in normal-weight and obese adolescents. *Obes Res.* 2004, 12, 513.
19. **Midgley A.W., McNaughton L.R., Polman R. et al.:** Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendation for future research. *Sports Med.* 2007, 37, 1019.