

CHARACTERISTICS OF THE RESPIRATORY MUSCLE STRENGTH OF WOMEN AND MEN AT DIFFERENT TRAINING LEVELS

ANDRZEJ KLUSIEWICZ, ŁUKASZ ZUBIK, BARBARA DŁUGOŁĘCKA, MAŁGORZATA CHARMAS

*Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw,
Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska,
Department of Physiology and Biochemistry*

Mailing address: Andrzej Klusiewicz, Faculty of Physical Education and Sport, Department of Physiology and Biochemistry, 2 Akademicka Street, 21-500 Biała Podlaska, tel.: +48 83 3428726, fax: +48 83 3428800, e-mail: andrzej.klusiewicz@insp.waw.pl

Abstract

Introduction. The objective of the study was to determine the maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax) of highly trained male and female athletes competing in endurance sports and of non-training students of both sexes. Analysis was conducted of the dependence of P_Imax levels on somatic indices and training experience. The reproducibility of the method for measuring P_Imax index was determined. **Material and methods.** The study examined a total of 234 training and non-training individuals (78 women and 156 men). The test subjects were measured for P_Imax, as well as inspiratory time, active time, passive time and diaphragm relaxation time. A group of 59 women and men (training and non-training) were tested a second time within 5-7 days of the first test to determine the reproducibility of the P_Imax measurements. **Results and conclusion.** The measurements were found to be highly reproducible (between the first and second tests no statistically significant differences were found, all spirometric indices included in the study were shown to demonstrate a significant correlation, and total error for all of the analyzed indexes was between 11.1 and 24.3%). Reference ranges for P_Imax were determined for women and men at different training levels. P_Imax was shown to have a positive dependence on somatic indices characterizing male and female body mass.

Key words: maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax), training and non-training individuals (women, men), endurance training

Introduction

One of the most commonly used methods for diagnosing the functional capacity of the respiratory muscles is to measure maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax) in the oral cavity [1]. This is a simple, reproducible and non-invasive method for assessing the strength of respiratory muscles, one that is generally used to diagnose lung diseases in specialized clinics [2, 3, 4, 5]. This parameter also corresponds to the ability to generate force through the combined, maximal effort of the respiratory muscles during a short, almost static contraction throughout which the air flow through the air passages remains almost entirely restricted. It bears mentioning that published P_Imax values vary greatly depending on such factors as the study population, the measurement technique and the test subjects' motivation [2]. For this reason, it is suggested that each laboratory work out its own frame of reference.

The question that interested the authors was to assess the influence of endurance training on the functioning of respiratory muscles. P_Imax measurements were taken of representative groups of female and male athletes with high levels of fitness and many years of training, and the results obtained were compared to values obtained for young, non-training but physically active students from the University of Physical Education. The objective of the study was to determine the P_Imax value of highly trained athletes competing in endurance sports and

of non-training students, as well as to investigate fundamental relationships between the value of this index and somatic indices and training experience. An important aspect of the study was to determine the reproducibility of the method for measuring P_Imax index.

Material and methods

Tests were conducted on 78 women (45 training and 33 non-training) and 156 men (80 training and 76 non-training), or a total of 234 people. The test subjects are characterized in table 1. The groups of non-training individuals consisted of healthy students at the University of Physical Education, while the training groups consisted of male and female athletes, ranging in category from junior to senior, and primarily participating in endurance sports: biathlon, kayaking, rowing, swimming and team sports. In the groups of non-training male and female students, 12 of the 109 subjects (11%) smoked cigarettes. The test subjects had no previous experience in taking spirometric measurements, and immediately prior to the study they were briefed on the measurement procedure and study methodology. In a group of 59 women and men (training and non-training) the study was conducted a second time within 5-7 days under the same laboratory conditions and at the same time of day. The measurements were all taken by the same technician.

Table 1. Characterization of male and female test subjects (mean \pm SD), total n=234

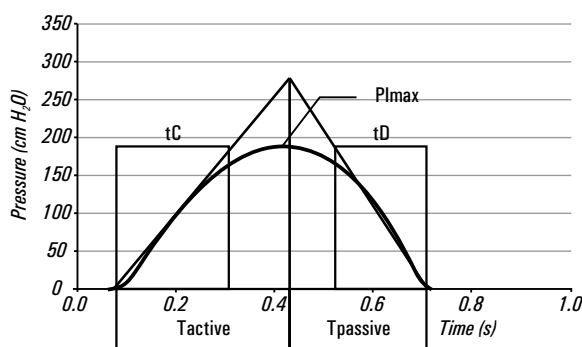
Group	N	Age (years)	Body height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg/m ²)	Training experience (years)
Non-training female students	33	21.8 \pm 1.5	167 \pm 5	59.5 \pm 7.3	21.3 \pm 2.4	-
Female athletes	45	21.0 \pm 3.7	172 \pm 8	66.0 \pm 9.4	22.2 \pm 2.0	7.7 \pm 4.5
Non-training male students	76	22.3 \pm 1.9	180 \pm 6	77.1 \pm 9.9	23.7 \pm 2.5	-
Male athletes	80	24.1 \pm 3.7	184 \pm 8	82.6 \pm 11.3	24.3 \pm 2.4	10.5 \pm 4.2

The subjects agreed to participate in the study, and the study program was approved by the Senate Ethics Committee for Scientific Research of the Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw and the Research Ethics Committee of the Institute of Sport in Warsaw.

Measurement of maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax)

P_Imax was measured based on a procedure that has already been described by other authors [2, 5, 6, 7]. A minimum of 10 and a maximum of 15 technically satisfactory inspirations are performed. The three highest measurements exhibiting no more than 5% variability are designated as the maximum. The initial positioning of the respiratory muscles was controlled by beginning each effort from residual volume (RV). All of the actions were performed from a standing position. The subjects were verbally encouraged to make a maximum effort, and they obtained feedback information on a monitor screen (visual feedback) concerning the inspiratory pressure of each attempt (fig. 1). The following were registered:

- active time (T_{active}) – segment on the time axis between the point of intersection of the tangents indicated on the time axis and the intersection of the tangent and the axis on the rising portion of the graph),
- passive time (T_{passive}) – segment on the time axis between the point of intersection of the tangents indicated on the time axis and the intersection of the tangent and the axis on the falling portion of the graph),
- inspiration time (T_{in}),
- respiratory muscle relaxation time (t_D), defined as the time it takes for the pressure to fall from its highest value (P_Imax) to zero (P_{Io}). Points P_Imax and P_{Io} are calculated from the tangent to the middle segment (50-80%) of the relaxation time curve [8].

**Figure 1.** Curve indicating changes in inspiratory pressure during an vigorous inspiration with characteristic measuring points

The measurements were carried out using the electronic equipment supplied with the Lungtest 1000 computer software (MES, Krakow, Poland) capable of transmitting the pressure from the site of the measurement (the mouthpiece) to the pressure sensors.

Anthropometric measurements

Body height and mass were determined using conventional methods. Body composition (body fat and lean body mass) were only measured for non-training male and female students using bioimpedance analysis (BIA) with the aid of BC-418 MA analyzers produced by Tanita (Japan).

Statistical calculations

The results were subject to statistical analysis, calculating: the mean values of the examined characteristics, standard deviation (SD) and total error (TE).

In assessing whether the distribution of the examined variables conforms to normal distribution, the Shapiro-Wilk test was applied. The degree of dependence between the variables was assessed based on calculations of Pearson product-moment correlation coefficients. In cases where the distributions of the variables deviated significantly from normal distribution, Spearman's rank correlation coefficients were calculated. The significance of the differences between the means was assessed using Student's t-test (for dependent and independent samples). In conducting the statistical analysis, the value of $p < 0.05$ was defined as significant.

Calculations and statistical analysis were conducted using the following computer programs: Statistica v. 8.0 (StatSoft) and Excel 2007 (Microsoft Office).

Results

No statistically significant differences were observed between the first and second measurements taken 5-7 days apart for: P_Imax, inspiration time, active time, passive time and diaphragm relaxation time, which shows that the method is reproducible (tab. 2). In all cases, analysis of the correlation coefficients for the aforementioned spirometric indices indicated statistically significant dependencies between the first and second test, along with relatively differentiated relative total error (between 11.1 and 24.3%).

Table 2. Values of maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax), inspiration time (T_{in}), active time (T_{active}), passive time (T_{passive}), diaphragm relaxation time (t_D), correlation coefficient (R), total error (TE) and relative total error (TE, %) in studies repeated among women and men (n=59)

Variable/Test	Test 1	Test 2	R	TE	TE (%)
P _I max (cm H ₂ O)	102 \pm 33	104 \pm 30 ^{NS}	0.94*	11.3	11.1
T _{in} (ms)	599 \pm 159	571 \pm 162 ^{NS}	0.77*	111	18.5
T _{active} (ms)	260 \pm 72	245 \pm 80 ^{NS}	0.67*	63	24.3
T _{passive} (ms)	215 \pm 75	208 \pm 72 ^{NS}	0.83*	42	19.7
t _D (ms)	115 \pm 25	111 \pm 21 ^{NS}	0.70*	19	16.1

^{NS} – insignificant statistical differences between 1 and 2 ($p > 0.05$).

* – significance of the correlation coefficient ($p < 0.001$).

The measurements made it possible, above all, to specify reference ranges for P_Imax, assuming an average range for the arithmetic mean of $\pm 1/2$ SD (tab. 3). The P_Imax values obtained for male and female athletes were significantly higher than corresponding values registered for non-training male and female students.

Table 3. Value of maximal inspiratory mouth pressure (P_{Imax}) registered in test groups of non-training and training women and men (mean ± SD)

Group	N	P _{Imax} (cm H ₂ O)			
		Mean±SD	Low	Average	High
Non-training female students	33	72 ± 18	62	63-81	82
Female athletes	45	113 ± 25*	99	100-126	127
Non-training male students	76	106 ± 24	93	94-118	119
Male athletes	80	141 ± 29*	125	126-156	157

* – statistically significant difference (p<0.001) between non-training and training subjects, Student's t-test.

With regard to dependencies between P_{Imax} values and somatic indices, significant correlation indexes were noted among women (students) and between P_{Imax} and height (r=0.38), body mass (r=0.39) and lean body mass (r=0.46). However, in the group of men, P_{Imax} correlated significantly to body mass (r=0.32), BMI (r=0.39) (athletes) and lean body mass (r=0.23) (students), (tab. 4).

Table 4. Values of correlation coefficients between maximal inspiratory mouth pressure (P_{Imax}) and somatic indices and training experience registered for groups of non-training male and female students and male and female athletes

	Female students (n=33)	Male students (n=76)	Female athletes (n=45)	Male athletes (n=80)
	P _{Imax} (cm H ₂ O)			
Body height (cm)	0.38*	0.05	0.10	0.09
Body mass (kg)	0.39*	0.18	-0.01	0.32*
BMI (kg/m ²)	0.24	0.19	-0.14	0.39*
Body fat (kg)	0.27	0.08	-	-
Lean body mass (kg)	0.46*	0.23*	-	-
Training experience (years)	-	-	-0.05	-0.09

* – significance of correlation coefficients p<0.05.

Discussion

One of the most significant problems involved in introducing a new measurement method into the laboratory is assessing its reproducibility. In the literature on the subject, there are not many studies on the reproducibility of non-invasive measurements of the functioning of respiratory muscles. Romer et al. [7] obtained high reproducibility for non-invasive measurements of maximal inspiratory pressure (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP), expressed in terms of the agreement ratios ranged from 1.05 to 1.06. Comparably high reproducibility for measurements of maximal inspiratory mouth pressure (P_{Imax}) and maximal expiratory mouth pressure (P_{E_{max}}) were obtained by McConnell and Copestake [9], with reproducibility coefficients of 10.2 and 12.8%, respectively. It should be emphasized that two factors exerted a large influence on the measurements: how skillfully the personnel conducted the test and how motivated the test subject was [10]. Tests conducted by the authors to evaluate the reproducibility of measurements of se-

lected spirometric indices confirmed the reliability of the applied methodology. No statistically significant differences were found between the repeated measurements, and high values were noted for correlation coefficients between the first and second measurement. It bears mentioning that total error was at its highest for active time (24.3%), and at its lowest for P_{Imax} (11.1%). This is probably because the test subject has more of a chance to influence how this measurement is taken than to influence the value of maximal inspiratory mouth pressure itself, for which the differences between the mean values of the two measurements was 2%. The relative total error values for the remaining indices (T_{in}, T_{passive} and t_D), which greatly exceeded 10%, confirm the relatively high variability of the values obtained from repeated spirometric measurements (tab. 2).

In studies devoted to mechanisms influencing respiratory muscle fatigue among patients, particular attention is paid to the diaphragm [11, 12]. Thus, the Institute of Tuberculosis and Lung Diseases developed a computerized method for analyzing diaphragm relaxation time – an important aspect of patient diagnosis. During diaphragm relaxation time, the muscle returns to its initial length and tension. This phase plays a fundamental role in the perfusion of blood through the muscle. The mechanism responsible for slowing relaxation after fatigue has set in seems to be the reduced tempo of calcium influx into the sarcoplasmic reticulum and the distribution of the lateral bridges [12]. In the authors' own tests mentioned above, the diaphragm relaxation time was 115 ± 25 ms for the first measurement and underwent an insignificant reduction of 3.5% for the second measurement. It is assumed that under normal conditions this time varies between 60 and 120 ms and grows longer proportionate to the degree of diaphragm muscle fatigue. Assessing the suitability of the measurement of diaphragm relaxation time for healthy individuals after intense physical exertion remains an open question.

The goal of the authors' own tests, apart from verifying the reproducibility of the method used to measure P_{Imax}, was to determine reference values for this index for persons of both sexes at different training levels (tab. 3). In conducting the tests, the characteristic in question was given in terms of three levels: low, average and high. For the average level, an arithmetic mean of ±0.5 SD was assumed. The collected data confirmed earlier observations [2], i.e. a significantly higher P_{Imax} value among athletes as compared to non-training individuals. In other studies, Fuso et al. [6] indicate that measuring respiratory muscle strength from functional residual capacity (P_{Imax}FRC) is more diagnostic in distinguishing non-training individuals from athletes than the most common method: measuring from the initial position of respiratory muscles from residual volume (P_{Imax}RV). Adding gender to the equation, studies by Hautmanna et al. [10] involving large groups of women and men (total n=504) between the ages of 18 and 82 yielded a mean P_{Imax} value for women that was 25% lower than for men (p<0.001) [10].

The P_{Imax} value for male and female students obtained from the authors' tests was around 20% lower (tab. 5) as compared to data from the literature for non-training individuals [10, 13, 14]. For athletes, the authors provide more differentiated values, from 104 to 130 cm H₂O among female athletes [2, 15] and from 100 to 158 cm H₂O among male athletes [3, 6, 16, 17]. However, the authors' own data, 113 ± 25 and 141 ± 29 cm H₂O, respectively, fit within the scope in question and approximated (women) or exceeded (men) mean interval values. Among female students, P_{Imax} values were 68% of the values for groups of male students, while female athletes measured 80% of the values for male athletes.

Table 5. Values of maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax) registered in groups of non-training individuals and groups of athletes from various athletic disciplines (modified after [2])

Author	Group	Age (years)	Women		Men	
			N	P _I max (cm H ₂ O)	N	P _I max (cm H ₂ O)
Chen i Ching-Su [1989]	Non-training individuals	16-30	20	89 ± 14	20	123 ± 25
Fiz et al. [1998]		20-29	10	90 ± 26	10	135 ± 33
Hautmann et al. [2000]		18-30	41	81 ± 22	56	107 ± 24
Authors' study	UPE Students	19-26	33	72 ± 18	76	106 ± 24
McConnell et al. [1997]	Moderately trained individuals	23 ± 2.8			24	158 ± 29
Fuso et al. [1996]	Elite footballers	23 ± 3			27	114 ± 32
Romer et al. [2002]	Cyclists and triathletes	29.5 ± 3.3 E 30.3 ± 2.6 C			16	102 ± 6 E 100 ± 6 C
Volianitis et al. [2001]	Elite female rowers	23.8 ± 3.8	14	104 ± 8 E 130 ± 12 C		
Klusiewicz et al. [2008]	Elite male rowers	24.8 ± 3.2			15	157 ± 23
Klusiewicz [2008]	Athletes engaged in endurance sports	17-34	30	118 ± 24	35	143 ± 25
Authors' study	Athletes involved primarily in endurance sports	17-34	45	113 ± 25	80	141 ± 29

E – test group, C – control group, UPE – University of Physical Education.

Also noteworthy are the considerable inter-group variations between P_Imax values, in groups of both male students and male athletes (fig. 2). Minimal values in these groups were almost three times lower than maximum values, and the coefficient of variation was from 21 to 26%, respectively. As Hautmann et al. [10] point out, most publications state that the index in question exhibits high interindividual variability. In the opinion of McConnell et al. [16], individuals with low P_Imax values exhibit greater susceptibility to respiratory muscle fatigue under exertion. In order to improve the strength (power) of this group of muscles, it is essential to conduct separate, specific training with the use of special equipment that increases inspiratory resistance, as numerous studies have confirmed [3, 4, 15, 17, 18, 19].

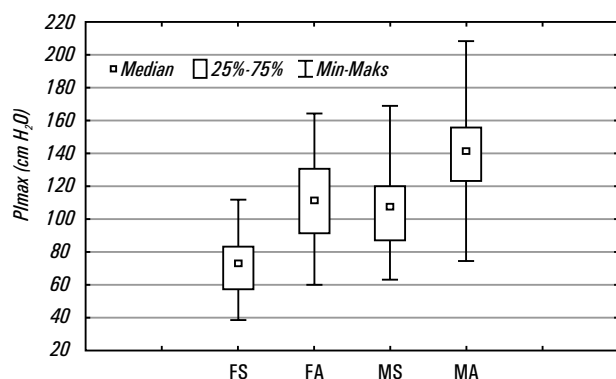


Figure 2. Characterization of maximal inspiratory mouth pressure (P_Imax) in study groups of non-training and training women and men (FS – female students n=33, FA – female athletes n=45, MS – male students n=76, MA – male athletes n=80)

A no less important problem is to analyze factors that influence the strength of respiratory muscles. Unfortunately, in the study presented here, no measurements were made of body composition in athletes, and the dependencies asserted between P_Imax and the analyzed indices (height and body mass, BMI) were not unequivocal (tab. 4). Among female students, a significant positive correlation was observed between P_Imax and variables characterizing body size (height and body mass)

as well as lean body mass. However, these dependencies were not observed for female athletes. In groups of male students and athletes, only athletes exhibited a dependency of P_Imax on body mass and BMI. This significant positive dependency of BMI among male athletes may suggest the existence of a connection between respiratory muscle strength and overall muscle mass. This is a result of the fact that the male athletes engaging in endurance disciplines generally have low body fat (8-14%), and the higher BMI values among subjects were most likely attributable to increases in active tissue due to years of training (tab. 1). The abovementioned dependencies indicate that respiratory muscle strength among women and men may be connected to body size. German authors, too [10], in a study of 256 female and 248 male non-athletes, confirmed the existence of strong dependencies between P_Imax and height, body mass and BMI, as well as forced expiratory volume in 1 second (FEV₁), peak expiratory flow (PEF), and forced vital capacity (FVC). The strongest correlation occurred in connection with gender and age. In other studies involving groups of non-training individuals numbering in the thousands, the positive predictors of maximal inspiratory pressure (MIP) were male gender, forced vital capacity (FVC), hand grip strength and a high level of lean body mass [20]. However, a negative connection was asserted for age, cigarette smoking, a poor declared state of health and waistline.

In contrast to the above data, McConnel et al. [16], in conducting measurements on moderately trained men, observed no significant correlations between P_Imax values and VO₂max, height and body mass. Nor were correlations between P_Imax and test subjects' physical characteristics found to be significant in other studies of healthy, non-training individuals [9]. As the aforementioned authors point out, respiratory muscle strength is conditioned by a multi-factor complex, in contradistinction to the individual dependencies connected with age and somatic features, with consideration given to the strong influence exerted by physical activity.

Contrary to expectations, the correlation coefficients for P_Imax and training experience observed in the authors' study were not statistically significant, which may indicate that endurance training among highly trained individuals presumably does not influence the subsequent development of respiratory muscle strength, which has also been confirmed in other studies [2].

Conclusions

Measurements taken of indexes for maximal, static mouth pressure (P_Imax) using apparatus produced by MES Sp. z o.o. were comparable to data in the literature and were confirmed as highly reproducible among healthy, adult women and men. The P_Imax reference values obtained from the study may be useful as a reference when distinguishing among test subjects for whom separate, specific training of respiratory muscles is advisable. P_Imax values, regardless of gender, indicate a stronger dependence on body size and lean body mass than on training.

Acknowledgements

The research was accomplished within the framework of research project of Faculty of Physical Education and Sport in Białą Podlaska, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw – DS. 179 – financed by the Ministry of Science and Higher Education in 2013-2015. The tests were conducted in the Regional Centre for Research and Development in Białą Podlaska.

Literature

1. Sheel A.W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals. Physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Medicine* 32, 567-581.
2. Klusiewicz A. (2008). Characteristics of the inspiratory muscle strength in well trained athletes. *Biology of Sport* 25, 13-22.
3. Klusiewicz A., Borkowski L., Zdanowicz R., Boros P., Wesołowski S. (2008). Inspiratory muscle training in elite rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48, 279-284.
4. Ozkaplan A., Rhodes E.C. (2004). Exercise induced respiratory muscle fatigue – a review of methodology and recent findings. *Biology of Sport* 21, 207-230.
5. Wen A.S., Woo M.S., Keens T.G. (1997). How many manoeuvres are required to measure maximal inspiratory pressure accurately? *Chest* 111, 802-807.
6. Fuso L., di Cosmo V., Nardecchia B., Sammarro S., Pagliari G., Pistelli R. (1996). Maximal inspiratory pressure in elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 36, 67-71.
7. Romer L.M., McConnell A.K. (2004). Inter-test reliability for non-invasive measurements of respiratory muscle function in healthy humans. *European Journal Applied Physiology* 91, 167-176.
8. Śliwiński P., Walczak J. (2004). Respiratory muscles. In J. Kowalski, A. Kozirowski, L. Radwan (Eds.), *An assessment of lung factors in diseases of the respiratory system* (pp. 94-128). Warszawa: Wydawnictwo Medyczne Borgis. [in Polish]
9. McConnell A.K., Copestake A.J. (1999). Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: issues of reproducibility and interpretation. *Respiration* 66(3), 252-258.
10. Hautmann H., Hefele S., Schotten K., Huber R.M. (2000). Maximal inspiratory mouth pressures (P_Imax) in healthy subjects – what is the lower limit of normal? *Respiratory Medicine* 94(7), 689-693.
11. Coirault C., Chemla D., Lecarpentier Y. (1999). Relaxation of diaphragm muscle. *Journal of Applied Physiology* 87, 1243-1252.
12. Śliwiński P., Yan S., Gauthier A.P., Macklem P.T. (1996). Function of the diaphragm during exercise. *Pneumonologia i Alergologia Polska* 64, 577-589.
13. Chen Hsiun-ing, Ching-Su Kuo (1989). Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors. *Journal of Applied Physiology* 66, 943-948.
14. Fiz J.A., Romero P., Gomez R., Hernandez M.C., Ruiz J., Izquierdo J. et al. (1998). Indices of respiratory muscle endurance in healthy subjects. *Respiration* 65, 21-27.
15. Volianitis S., McConnell A.K., Koutedakis Y., Mcnaughton L., Backx K., Jones D.A. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 803-809.
16. McConnell A.K., Caine M.P., Sharpe G.R. (1997). Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength. *International Journal of Sports Medicine* 18, 169-173.
17. Romer L.M., McConnell A.K., Jones D.A. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences* 20, 547-562.
18. Lomax M., Grant I., Corbett J. (2011). Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *Journal of Sports Sciences* 29(6), 563-569.
19. Riganas C.S., Vrabas I.S., Christoulas K., Mandroukas K. (2008). Specific inspiratory muscle training does not improve performance or VO₂max level in well trained rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48(3), 285-292.
20. Enright P.L., Kronmal R.A., Manolio T.A., Schenker M.B., Hyatt R.E. (1994). Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 149(2 Pt 1), 430-438.

Submitted: March 7, 2014

Accepted: May 5, 2014

CHARAKTERYSTYKA SIŁY MIĘŚNI ODDECHOWYCH U KOBIET I MĘŻCZYŹN O ZRÓŻNICOWANYM STOPNIU WYTRENOWANIA

ANDRZEJ KLUSIEWICZ, ŁUKASZ ZUBIK, BARBARA DŁUGOŁĘCKA, MAŁGORZATA CHARMAS

*Akademia Wychowania Fizycznego J. Piłsudskiego w Warszawie,
Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej, Zakład Fizjologii i Biochemii*

Adres do korespondencji: Andrzej Klusiewicz, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Zakład Fizjologii i Biochemii, ul. Akademicka 2, 21-500 Biała Podlaska, tel.: 83 3428726, fax: 83 3428800, e-mail: andrzej.klusiewicz@insp.waw.pl

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem przeprowadzonych badań było określenie wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_Imax) u wysoko wytrenowanych zawodniczek i zawodników konkurencji o profilu wytrzymałościowym oraz u nietrenujących studentów obu płci. Dokonano analizy zależności dla wielkości P_Imax od wskaźników cech somatycznych i od stażu treningowego. Określono powtarzalność metody pomiaru P_Imax. **Materiał i metody.** Badaniami objęto ogółem 234 osoby trenujące i nietrenujące (78 kobiet oraz 156 mężczyzn). U badanych przeprowadzono pomiary P_Imax rejestrując dodatkowo czas wdechu, czas aktywny, czas pasywny i czas relaksacji przepony. W grupie 59 kobiet i mężczyzn (trenujących i nietrenujących) przeprowadzono badanie dwukrotnie w odstępie 5-7 dni mające na celu określenie powtarzalności pomiarów P_Imax. **Wyniki i wnioski.** Pomiary wykazały dobrą powtarzalność metody (między pierwszym a drugim badaniem brak istotnych statystycznie różnic oraz istotne korelacje w zakresie wszystkich obserwowanych wskaźników spirometrycznych, błąd całkowity analizowanych wskaźników od 11,1 do 24,3%). Opracowano zakresy referencyjne dla P_Imax dla kobiet i mężczyzn o zróżnicowanym poziomie wytrenowania. Wykazano dodatnie zależności P_Imax od wskaźników somatycznych określających wielkość ciała badanych kobiet i mężczyzn.

Słowa kluczowe: maksymalne ciśnienie wdechowe (P_Imax), osoby trenujące i nietrenujące (kobiety, mężczyźni), trening wytrzymałościowy

Wstęp

Do jednej z często stosowanych metod diagnozowania stanu funkcjonalnego mięśni oddechowych zalicza się pomiar maksymalnego ciśnienia wdechowego w jamie ustnej (maximal inspiratory mouth pressures – P_Imax) [1]. Badanie jest prostą, powtarzalną i nieinwazyjną metodą oceny siły mięśni wdechowych stosowaną na ogół w diagnostyce chorób płuc w specjalistycznych klinikach [2, 3, 4, 5]. Parametr ten odpowiada zdolności generowania siły, przez połączone maksymalne działanie mięśni wdechowych, w czasie krótkotrwałego, prawie statycznego skurczu, przy niemal całkowitym zamknięciu przepływu powietrza przez drogi oddechowe. Należy zwrócić uwagę, że publikowane wartości P_Imax charakteryzuje duża zmienność, zależna między innymi od badanej populacji, techniki pomiaru czy motywacji badanych [2]. Sugeruje się wobec powyższego opracowanie własnych wartości referencyjnych dla każdego laboratorium.

Interesującą autorów kwestią była ocena wpływu treningu o charakterze wytrzymałościowym, na czynność mięśni oddechowych. Pomiary P_Imax wykonano z udziałem reprezentatywnych grup zawodniczek i zawodników o wysokim poziomie sportowym i wieloletnim stażu treningowym, a uzyskane wyniki odniesiono do wartości rejestrowanych u zdrowych, nietrenujących lecz aktywnych ruchowo studentów Akademii Wychowania Fizycznego. Przeprowadzone badania miały na celu określenie wartości P_Imax u wysoko wytrenowanych zawodników konkurencji o profilu wytrzymałościowym i nietrenują-

cych studentów, oraz prześledzenie podstawowych zależności zarówno pomiędzy wielkością tego wskaźnika a wskaźnikami budowy somatycznej jak i stażem treningowym. Ważnym aspektem badań było określenie powtarzalności metody pomiaru P_Imax.

Materiał i metody

Badaniami objęto 78 kobiet (45 trenujące i 33 nietrenujące) oraz 156 mężczyzn (80 trenujących i 76 nietrenujących mężczyzn) ogółem 234 osoby. Charakterystykę badanych przedstawiono w tabeli 1. Grupy osób nietrenujących stanowili zdrowi studenci Akademii Wychowania Fizycznego, natomiast grupy trenujące zawodniczki i zawodnicy, od kategorii juniora do seniora, uprawiający przede wszystkim dyscypliny wytrzymałościowe: biathlon, kajakarstwo, wioślarstwo, pływanie i gry zespołowe. W grupach nietrenujących studentek i studentów spośród 109 badanych 12 paliło papierosy (11%). Badane osoby nie miały wcześniejszych doświadczeń w wykonywaniu pomiarów spirometrycznych i bezpośrednio przed badaniem zostały one zapoznane z procedurą pomiarową i metodyką badań. W grupie 59 kobiet i mężczyzn (trenujących i nietrenujących) badania były wykonywane dwukrotnie w odstępie 5-7 dni w tych samych warunkach laboratoryjnych i o tej samej porze dnia. Wszystkie pomiary wykonywał ten sam technik.

Tabela 1. Charakterystyka badanych kobiet i mężczyzn (średnia \pm SD), łącznie n=234

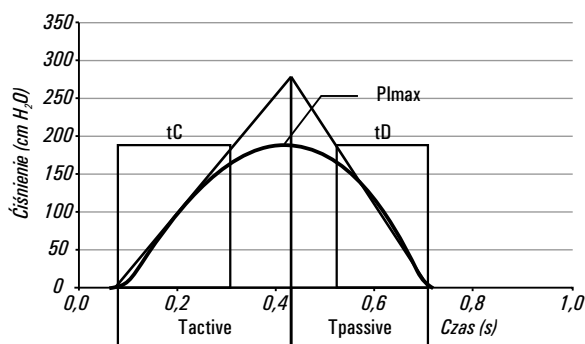
Grupa	N	Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	BMI (kg/m ²)	Staż treningowy (lata)
Nietreningowe studentki	33	21,8 \pm 1,5	167 \pm 5	59,5 \pm 7,3	21,3 \pm 2,4	-
Zawodniczki	45	21,0 \pm 3,7	172 \pm 8	66,0 \pm 9,4	22,2 \pm 2,0	7,7 \pm 4,5
Nietreningowi studenci	76	22,3 \pm 1,9	180 \pm 6	77,1 \pm 9,9	23,7 \pm 2,5	-
Zawodnicy	80	24,1 \pm 3,7	184 \pm 8	82,6 \pm 11,3	24,3 \pm 2,4	10,5 \pm 4,2

Badani wyrazili zgodę na udział w badaniach, a program badań został zaakceptowany przez Senacką Komisję Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie i Komisję Etyki Badań Naukowych Instytutu Sportu w Warszawie.

Pomiar maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax})

Pomiar P_{Imax} przeprowadzono według procedury opisanej wcześniej przez innych autorów [2, 5, 6, 7]. Wykonano minimalnie 10, a maksymalnie 15 technicznie satysfakcjonujących wdechów. Trzy najwyższe pomiary, ze zmiennością nie przekraczającą 5%, określono jako maksimum. Początkowe położenie mięśni wdechowych było kontrolowane poprzez rozpoczęcie każdego wysiłku od objętości zalegającej (RV). Wszystkie czynności były wykonywane w pozycji stojącej. Badani byli dopingowani słownie do wykonania maksymalnego wysiłku oraz uzyskiwali zwrotną informację na ekranie monitora (visual feedback) o wielkości poszczególnych ciśnień wdechowych (ryc. 1). Rejestrowano:

- czas aktywny (T_{active}) – odcinek na osi czasu pomiędzy zrzuconym na oś czasu punktem przecięcia się stycznych a przecięciem z osią stycznej do wznoszącej części wykresu),
- czas pasywny (T_{passive}) – odcinek na osi czasu pomiędzy zrzuconym na oś czasu punktem przecięcia się stycznych a przecięciem z osią stycznej do opadającej części wykresu),
- czas wdechu (T_{in}),
- czas relaksacji mięśni wdechowych (t_D) określono jako czas opadania ujemnego ciśnienia od jego najwyższej wartości (P_{Imax}) do wartości zerowej (P_{Io}). Punkty P_{Imax} i P_{Io} obliczono ze stycznej do środkowego odcinka (50-80%) krzywej czasu relaksacji [8].

**Rycina 1.** Krzywa zmian ciśnienia wdechowego w czasie energicznego wdechu z charakterystycznymi punktami pomiarowymi

Pomiary wykonano za pomocą aparatury elektronicznej współpracującej z oprogramowaniem komputerowym Lung-test 1000 (MÉS, Kraków, Polska). Aparatura posiada odpowiedni układ przeniesienia ciśnienia z miejsca pomiaru (ustnika) do czujników ciśnieniowych.

Pomiary antropometryczne

Wysokość i masę ciała oznaczono metodami konwencjonalnymi. Komponenty ciała (zawartość tkanki tłuszczowej i beztłuszczowej masy ciała) określono jedynie u nietreningujących studentek i studentów metodą elektrycznej bioimpedancji (BIA) przy użyciu analizatora model BC-418 MA firmy Tanita (Japonia).

Obliczenia statystyczne

Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie obliczając: wartości średnie badanych cech, odchylenia standardowe (SD) i błąd całkowity (TE).

Do oceny zgodności rozkładów badanych zmiennych z rozkładem normalnym zastosowano test Shapiro-Wilka. Stopień zależności między zmiennymi oceniono na podstawie obliczonych współczynników korelacji prostej Pearsona. W przypadku, gdy rozkłady badanych zmiennych w istotny sposób odbiegały od rozkładu normalnego obliczono współczynniki korelacji porządku rang Spearmana. Istotność różnic między poszczególnymi średnimi oceniono testem t-Studenta (dla prób zależnych i niezależnych). W przeprowadzonych analizach statystycznych jako istotne przyjęto wartości $p < 0,05$.

Obliczenia i analizę statystyczną wykonywano za pomocą programu komputerowego Statistica v. 8.0 (StatSoft) i Excel 2007 (Microsoft Office).

Wyniki

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem w odstępie 5-7 dni w zakresie: P_{Imax}, czasu wdechu, czasu aktywnego, czasu pasywnego i czasu relaksacji przepony, co świadczy o powtarzalności metody (tab. 2). Analiza współczynników korelacji w obrębie wymienionych wskaźników spirometrycznych wykazała we wszystkich przypadkach istotne statystycznie zależności pomiędzy badaniem pierwszym a drugim, przy stosunkowo zróżnicowanym względnym błędzie całkowitym (od 11,1 do 24,3%).

Tabela 2. Wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax}), czasu wdechu (T_{in}), czasu aktywnego (T_{active}), czasu pasywnego (T_{passive}), czasu relaksacji przepony (t_D), współczynnika korelacji (R), błędu całkowitego (TE) oraz względnego błędu całkowitego (TE, %) w badaniach powtarzanych u kobiet i mężczyzn (n=59)

Zmienna/Badanie	Badanie 1	Badanie 2	R	TE	TE (%)
P _{Imax} (cm H ₂ O)	102 \pm 33	104 \pm 30 ^{NS}	0,94*	11,3	11,1
T _{in} (ms)	599 \pm 159	571 \pm 162 ^{NS}	0,77*	111	18,5
T _{active} (ms)	260 \pm 72	245 \pm 80 ^{NS}	0,67*	63	24,3
T _{passive} (ms)	215 \pm 75	208 \pm 72 ^{NS}	0,83*	42	19,7
t _D (ms)	115 \pm 25	111 \pm 21 ^{NS}	0,70*	19	16,1

^{NS} – różnice nieistotne statystycznie pomiędzy badaniem 1 a 2 ($p > 0,05$),

* – istotność współczynnika korelacji ($p < 0,001$).

Przeprowadzone pomiary umożliwiły przede wszystkim określenie zakresów referencyjnych dla P_{Imax}, przy założeniu zakresu przeciętnego dla średniej arytmetycznej \pm 1/2 SD (tab. 3). Uzyskane wartości P_{Imax} u zawodniczek i zawodników były istotnie wyższe od zarejestrowanych odpowiednio u nietreningujących studentek i studentów.

Tabela 3. Wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax}) zarejestrowane w badanych grupach nietreningowych i treningowych kobiet i mężczyzn (średnia ± SD)

Grupa	N	P _{Imax} (cm H ₂ O)			
		Średnia±SD	Niski	Przeciętny	Wysoki
Nietreningowe studentki	33	72±18	62	63-81	82
Zawodniczek	45	113±25*	99	100-126	127
Nietreningowi studenci	76	106±24	93	94-118	119
Zawodnicy	80	141±29*	125	126-156	157

* – różnica istotna statystycznie (p<0,001) między treningowymi a nietreningowymi, test Studenta.

W zakresie badania zależności pomiędzy wielkością P_{Imax} a wskaźnikami budowy somatycznej, istotne współczynniki korelacji odnotowano u kobiet (studentki) między P_{Imax} a wzrostem (r=0,38), masą ciała (r=0,39) i beztłuszczową masą ciała (r=0,46). Natomiast w grupie mężczyzn P_{Imax} korelowało istotnie z masą ciała (r=0,32), BMI (r=0,39) (zawodnicy) i beztłuszczową masą ciała (r=0,23) (studenci) (tab. 4).

Tabela 4. Wartości współczynników korelacji pomiędzy maksymalnym ciśnieniem wdechowym (P_{Imax}) a wskaźnikami budowy somatycznej i stażem treningowym zarejestrowane w grupie studentek i studentów nietreningowych oraz zawodniczek i zawodników

	Studentki (n=33)	Studenci (n=76)	Zawodniczek (n=45)	Zawodnicy (n=80)
	P _{Imax} (cm H ₂ O)			
Wysokość ciała (cm)	0,38*	0,05	0,10	0,09
Masa ciała (kg)	0,39*	0,18	-0,01	0,32*
BMI (kg/m ²)	0,24	0,19	-0,14	0,39*
Tkanka tłuszczowa (kg)	0,27	0,08	-	-
Beztłuszczowa masa ciała (kg)	0,46*	0,23*	-	-
Staż treningowy (lata)	-	-	-0,05	-0,09

* – istotność współczynników korelacji p<0,05.

Dyskusja

Jednym z istotnych zagadnień związanych z wprowadzeniem do laboratorium nowej metody pomiarowej jest ocena jej powtarzalności. W literaturze tematu poświęcono niewiele opracowań dotyczących powtarzalności nieinwazyjnych pomiarów funkcji mięśni oddechowych. Romer i wsp. [7] uzyskali wysoką powtarzalność nieinwazyjnych pomiarów m.in. szczytowego ciśnienia wdechowego (MIP) i wydechowego (MEP) wyrażoną współczynnikiem zgodności (x/±1,05 do 1,06). Podobnie wysoką powtarzalność pomiarów maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax}) jak i wydechowego (P_{E_{max}}), ze współczynnikiem powtarzalności odpowiednio 10,2 i 12,8%, odnotowali McConnell i Copestake [9]. Podkreśla się, że duży wpływ na pomiary posiadają dwa czynniki: umiejętność prowadzenia badania przez personel, oraz motywacja badanego [10]. Ocena powtarzalności pomiarów wybranych wskaźników spirometrycznych w badaniach własnych potwierdziła rzetelność stosowanej metodyki. Wyrazem był brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy powtórzonymi pomiarami, oraz odnotowane wysokie

wartości współczynników korelacji, między pomiarem pierwszym a drugim. Zwraca uwagę, że błąd całkowity był najwyższy w odniesieniu do czasu aktywnego (24,3%), a najniższy dla P_{Imax} (11,1%). Wynika to prawdopodobnie z faktu większej możliwości wpływu osoby badanej na sposób wykonania pomiaru, aniżeli samej wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego, którego różnice średnich wartości pomiędzy dwoma pomiarami wynosiły 2%. Uzyskane wartości względnego błędu całkowitego dla pozostałych mierzonych wskaźników (T_{in}, T_{passive} i tD), znacznie przekraczające 10%, potwierdzają stosunkowo wysoką zmienność mierzonych wartości w powtarzalnych pomiarach spirometrycznych (tab. 2).

W pracach poświęconych mechanizmom wpływającym na zmęczenie mięśni oddechowych u pacjentów, szczególnie dużo uwagi poświęca się przeponie [11, 12]. I tak w Instytucie Gruźlicy i Chorób Płuc opracowano istotną dla diagnostyki pacjentów, komputerową metodę analizy czasu relaksacji przepony. W czasie relaksacji przepony mięsień powraca do swej początkowej długości i napięcia. Okres ten odgrywa zasadniczą rolę w perfuzji krwi przez mięsień. Mechanizmem odpowiedzialnym za zwolnienie relaksacji po zmęczeniu wydaje się być obniżone tempo dopływu wapnia do siateczki sarkoplazmatycznej i podziału mostków poprzecznych [12]. W omawianych badaniach własnych czas relaksacji przepony wynosił 115±25 ms podczas pierwszego pomiaru i uległ nieistotnemu obniżeniu o 3,5% w powtórzonym pomiarze. Przyjmuje się, że czas ten w warunkach prawidłowych waha się od 60 do 120 ms i wydłuża się proporcjonalnie do stopnia zmęczenia przepony. Otwartą kwestią jest ocena przydatności pomiaru czasu relaksacji przepony u osób zdrowych po intensywnych wysiłkach fizycznych.

Celem podjętych badań własnych oprócz weryfikacji powtarzalności metody pomiaru P_{Imax}, było opracowanie wartości referencyjnych dla tego wskaźnika dla osób obu płci, o zróżnicowanym poziomie wytrenowania (tab. 3). W badaniach uwzględniono trzy poziomy ocenianej cechy: niski, przeciętny i wysoki. Za poziom przeciętny przyjęto średnią arytmetyczną ±0,5 SD. Zebrane dane potwierdziły wcześniejsze obserwacje [2] to jest istotnie wyższe wartości wskaźnika P_{Imax} u zawodników, w porównaniu do osób nietreningowych wyczynowo. W innych badaniach Fusco i wsp. [6] wykazano, że pomiar siły mięśni oddechowych wykonany od czynnościowej pojemności zalegającej (functional residual capacity – P_{Imax}FRC) jest bardziej diagnostyczny, w różnicowaniu osób nietreningowych i zawodników w porównaniu do najczęściej przeprowadzanych z początkowego położenia mięśni wdechowych od objętości zalegającej (residual volume – P_{Imax}RV). Biorąc pod uwagę płuć, w badaniach Hautmanna i wsp. [10] przeprowadzonych z udziałem grup kobiet i mężczyzn o dużej liczebności (łącznie n=504) w wieku od 18 do 82 lat, średnie wartości P_{Imax} u kobiet były niższe o 25% aniżeli u mężczyzn (p<0,001) [10].

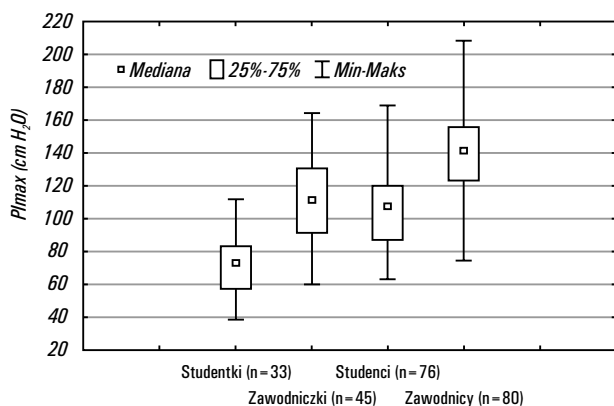
Uzyskane w badaniach własnych wartości P_{Imax} u studentek i studentów były nieco niższe o około 20% (tab. 5) w zestawieniu z danymi literaturowymi dla osób nietreningowych [10, 13, 14]. U sportowców autorzy podają bardziej zróżnicowane wartości od 104 do 130 cm H₂O u zawodniczek [2, 15] i od 100 do 158 cm H₂O u zawodników [3, 6, 16, 17]. Natomiast dane własne odpowiednio: 113±25 i 141±29 cm H₂O, mieściły się w omawianym zakresie i były zbliżone (kobiety) lub przekraczały (mężczyźni) środkowe wartości przedziału. U studentek zanotowano 68% zaś u zawodniczek 80% wartości P_{Imax} w porównaniu z grupami studentów i zawodników.

Tabela 5. Wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_Imax) zarejestrowane w grupach osób nietreningujących oraz u zawodników różnych dyscyplin sportowych (w modyfikacji za [2])

Autor	Grupa	Wiek (lata)	Kobiety		Mężczyźni	
			N	P _I max (cm H ₂ O)	N	P _I max (cm H ₂ O)
Chen i Ching-Su [1989]	Osoby nietreningujące	16-30	20	89 ± 14	20	123 ± 25
Fiz i wsp. [1998]		20-29	10	90 ± 26	10	135 ± 33
Hautmann i wsp. [2000]		18-30	41	81 ± 22	56	107 ± 24
Badania własne	Studenci AWF	19-26	33	72 ± 18	76	106 ± 24
McConnell i wsp. [1997]	Osoby umiarkowanie wytrenowane	23 ± 2,8			24	158 ± 29
Fuso i wsp. [1996]	Elita piłkarzy nożnych	23 ± 3			27	114 ± 32
Romer i wsp. [2002]	Kolarze i triathloniści	29,5 ± 3,3 E 30,3 ± 2,6 C			16	102 ± 6 E 100 ± 6 C
Volianitis i wsp. [2001]	Elita wioślarzy	23,8 ± 3,8	14	104 ± 8 E 130 ± 12 C		
Klusiewicz i wsp. [2008]	Elita wioślarzy	24,8 ± 3,2			15	157 ± 23
Klusiewicz [2008]	Zawodnicy konkurencji o profilu wytrzymałościowym	17-34	30	118 ± 24	35	143 ± 25
Badania własne	Zawodnicy z przewagą konkurencji o profilu wytrzymałościowym	17-34	45	113 ± 25	80	141 ± 29

E – grupa eksperymentalna, C – grupa kontrolna.

Uwagę zwraca także, znaczne zróżnicowanie wewnątrzgrupowe uzyskanych wartości P_Imax, zarówno w grupach studentów jak i zawodników (ryc. 2). Minimalne wartości w omawianych grupach były niemal trzykrotnie niższe od wartości maksymalnych, a współczynnik zmienności wynosił odpowiednio od 21 do 26%. Jak podkreśla Hautmann i wsp. [10] w większości publikacji stwierdza się wysoką międzypersonalną zmienność wartości omawianego wskaźnika. Zdaniem McConnella i wsp. [16] osobnicy charakteryzujący się niższymi wartościami P_Imax, wykazują większą podatność na zmęczenie mięśni oddechowych pod wpływem wysiłku. W celu poprawy siły (mocy) tej grupy mięśni, niezbędne jest przeprowadzenie odrębnego specyficznego treningu z wykorzystaniem specjalnych urządzeń zwiększających opór wdechowy, co potwierdziły liczne badania [3, 4, 15, 17, 18, 19].



Rycina 2. Charakterystyka maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_Imax) w badanych grupach nietreningujących i trenujących kobiet i mężczyzn

Nie mniej ważnym zagadnieniem jest analiza czynników wpływających na wielkość siły mięśni oddechowych. Niestety w prezentowanych badaniach w grupach sportowców nie wykonano pomiarów składu ciała, a stwierdzone zależności pomiędzy P_Imax a analizowanymi wskaźnikami (wysokością i masą ciała, BMI) nie były jednoznaczne (tab. 4). U studentek istotne

dotądnie korelacje obserwowano pomiędzy P_Imax, a zmiennymi określającymi wielkość ciała (wysokość i masa ciała) oraz beztłuszczową masą ciała, jednak takich zależności nie stwierdzono u zawodniczek. W grupach studentów i zawodników, jedynie u zawodników wykazano zależność P_Imax od masy ciała i BMI. Wykazana istotna dodatnia zależność z BMI u zawodników, może sugerować istnienie związku pomiędzy siłą mięśni oddechowych a ogólną masą mięśni. Wynika to z faktu, że badani zawodnicy uprawiający dyscypliny wytrzymałościowe charakteryzują się na ogół stosunkowo niską zawartością tkanki tłuszczowej (8-14%), a wyższe wartości BMI u badanych związane były zapewne ze zwiększeniem tkanki aktywnej pod wpływem wieloletniego treningu (tab. 1). Omawiane zależności wskazują, że u kobiet jak i u mężczyzn siła mięśni oddechowych może wykazywać związek z wielkością ciała. Również autorzy niemieccy [10] badając 256 kobiet i 248 mężczyzn nie trenujących potwierdzili występowanie silnych zależności między P_Imax a wysokością i masą ciała, BMI oraz natężoną objętością wydechową pierwszosekundową (forced expiratory volume in 1 second – FEV1), szczytowym przepływem wydechowym (peak expiratory flow – PEF) i natężoną pojemnością życiową (forced vital capacity – FVC). Najsilniejsza korelacja wystąpiła w odniesieniu do płci i wieku. W innych opracowaniach wykonanych z udziałem wielotysięcznych grup osób nietreningujących dodatni predyktor szczytowego ciśnienia wdechowego (MIP) to płeć męska, natężona pojemność życiowa (FVC), siła ścisku ręki i wysoki poziom beztłuszczowej masy ciała [20]. Negatywny związek stwierdzono natomiast dla wieku, palenia papierosów, złego deklarowanego stanu zdrowia i obwodu talii.

W przeciwieństwie do powyższych danych McConnell i wsp. [16] w pomiarach przeprowadzonych u umiarkowanie wytrenowanych mężczyzn, nie obserwowali istotnych korelacji zarówno pomiędzy wartościami P_Imax, a VO₂max, jak i wysokością czy masą ciała. Także w innych badaniach przeprowadzonych u zdrowych nietreningujących osób korelacje P_Imax z fizyczną charakterystyką badanych nie były znaczące [9]. Jak zaznaczają wymienieni autorzy siła mięśni oddechowych warunkowana jest przez kompleks wieloczynnikowy, w odróżnieniu od pojedynczych zależności związanych z wiekiem i budową somatyczną, przy uwzględnieniu silnego wpływu aktywności fizycznej.

Wbrew oczekiwaniom uzyskane w badaniach własnych współczynniki korelacji dla P_Imax i stażu treningowego nie były istotne statystycznie, co może wskazywać, że trening wytrzy-

małościowy u osób wysoko wytrenowanych przypuszczalnie nie wpływa na dalszy rozwój siły mięśni oddechowych, co potwierdziły także wcześniejsze badania [2].

Podsumowanie

Wykonane pomiary wskaźników maksymalnego, statycznego ciśnienia w jamie ustnej (PI_{max}), przy użyciu aparatury firmy MES, były porównywalne z danymi literatury oraz charakteryzowała je wysoka powtarzalność u zdrowych, dorosłych kobiet i mężczyzn. Opracowane wartości referencyjne PI_{max} mogą być pomocne jako odniesienie w różnicowaniu badanych osób, u których sugeruje się potrzebę przeprowadzenia odrębnego, specyficznego treningu mięśni oddechowych. Wielkość PI_{max} niezależnie od płci w większym stopniu wykazuje zależność od wielkości ciała i beztłuszczowej masy ciała, aniżeli od stażu treningowego.

Podziękowania

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej Akademii Wychowania Fizycznego J. Piłsudskiego w Warszawie – DS. 179 – finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2013-2015. Badania prowadzono w Regionalnym Ośrodku Badań i Rozwoju w Białej Podlaskiej.

Piśmiennictwo

1. Sheel A.W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals. Physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Medicine* 32, 567-581.
2. Klusiewicz A. (2008). Characteristics of the inspiratory muscle strength in well trained athletes. *Biology of Sport* 25, 13-22.
3. Klusiewicz A., Borkowski L., Zdanowicz R., Boros P., Wesołowski S. (2008). Inspiratory muscle training in elite rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48, 279-284.
4. Ozkaplan A., Rhodes E.C. (2004). Exercise induced respiratory muscle fatigue – a review of methodology and recent findings. *Biology of Sport* 21, 207-230.
5. Wen A.S., Woo M.S., Keens T.G. (1997). How many manoeuvres are required to measure maximal inspiratory pressure accurately? *Chest* 111, 802-807.
6. Fuso L., di Cosmo V., Nardecchia B., Sammarro S., Pagliari G., Pistelli R. (1996). Maximal inspiratory pressure in elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 36, 67-71.
7. Romer L.M., McConnell A.K. (2004). Inter-test reliability for non-invasive measurements of respiratory muscle function in healthy humans. *European Journal Applied Physiology* 91, 167-176.

8. Śliwiński P., Walczak J. (2004). Mięśnie oddechowe. W J. Kowalski, A. Koziarowski, L. Radwan (red.), *Ocena czynności płuc w chorobach układu oddechowego* (s. 94-128). Warszawa: Wydawnictwo Medyczne Borgis.
9. McConnell A.K., Copestake A.J. (1999). Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: issues of reproducibility and interpretation. *Respiration* 66(3), 252-258.
10. Hautmann H., Hefele S., Schotten K., Huber R.M. (2000). Maximal inspiratory mouth pressures (PI_{max}) in healthy subjects – what is the lower limit of normal? *Respiratory Medicine* 94(7), 689-693.
11. Coirault C., Chemla D., Lecarpentier Y. (1999). Relaxation of diaphragm muscle. *Journal of Applied Physiology* 87, 1243-1252.
12. Śliwiński P., Yan S., Gauthier A.P., Macklem P.T. (1996). Function of the diaphragm during exercise. *Pneumonologia i Alergologia Polska* 64, 577-589.
13. Chen Hsiun-ing, Ching-Su Kuo (1989). Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors. *Journal of Applied Physiology* 66, 943-948.
14. Fiz J.A., Romero P., Gomez R., Hernandez M.C., Ruiz J., Izquierdo J. et al. (1998). Indices of respiratory muscle endurance in healthy subjects. *Respiration* 65, 21-27.
15. Volianitis S., McConnell A.K., Koutedakis Y., Mcnaughton L., Backx K., Jones D.A. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 803-809.
16. McConnell A.K., Caine M.P., Sharpe G.R. (1997). Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength. *International Journal of Sports Medicine* 18, 169-173.
17. Romer L.M., McConnell A.K., Jones D.A. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences* 20, 547-562.
18. Lomax M., Grant I., Corbett J. (2011). Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *Journal of Sports Sciences* 29(6), 563-569.
19. Riganas C.S., Vrabas I.S., Christoulas K., Mandroukas K. (2008). Specific inspiratory muscle training does not improve performance or VO₂max level in well trained rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48(3), 285-292.
20. Enright P.L., Kronmal R.A., Manolio T.A., Schenker M.B., Hyatt R.E. (1994). Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 149(2 Pt 1), 430-438.

Submitted: March 7, 2014

Accepted: May 5, 2014