



## REVIEW PAPER / PRACA POGLĄDOWA

Lidia Perenc<sup>1(B,F,D,G)</sup>, Bożenna Karczmarek-Borowska<sup>1,2(A,D,F)</sup>, Monika Tymczak<sup>3(F,G)</sup>

### Endurance training of the respiratory muscles –literature research

### Trening wytrzymałości mięśni oddechowych – przegląd piśmiennictwa

<sup>1</sup> Instytut Fizjoterapii Wydział Medyczny Uniwersytet Rzeszowski

<sup>2</sup> Kliniczny Szpital Wojewódzki nr 1 w Rzeszowie

<sup>3</sup> Podkarpacki Ośrodek Onkologii Specjalistyczny Szpital w Brzozowie

#### ABSTRACT

**Introduction.** In 1976, Leith and Bradley proved that strength and endurance of the respiratory muscles in young healthy volunteers could be successfully trained using respiratory muscle endurance training. In 1992 Urs Boutellier and Christina Spengler's cooperation resulted in the construction and distribution of SpiroTiger training device.

**Aim of the study.** To analyze available data on monitoring and documenting changes after the respiratory muscles endurance training. Presentation of changes after specific training in the athletes, healthy and chronically ill individuals.

**Material and methods.** Literature Research and the PubMed database analysis using the following keywords: respiratory muscles endurance training, normocapnic hyperventilation, SpiroTiger.

**Conclusions.** Monitoring and documentation of changes in the lung and respiratory muscle function and endurance under the influence of the training can be conducted in a manner consistent with evidence-based medicine. Improved

#### STRESZCZENIE

**Wprowadzenie.** W 1976 roku Leith i Bradley udowodnili, że można kształtować siłę i wytrzymałość mięśni oddechowych u młodych, zdrowych ochotników za pomocą treningu wytrzymałości mięśni oddechowych. Współpraca Ursy Boutelliera i Christiny Spengler prowadzona w 1992 roku zaowocowała konstrukcją urządzenia treningowego SpiroTiger i jego rozpowszechnieniem.

**Cel pracy.** Przeanalizowanie dostępnych danych na temat monitorowania i dokumentowania zmian po treningu wytrzymałościowym mięśni oddechowych. Przedstawienie zmian pod wpływem specyficznego treningu u sportowców i osób zdrowych oraz przewlekle chorych.

**Materiał i metoda.** Przegląd i analiza piśmiennictwa z wykorzystaniem bazy danych PubMed i słów kluczowych: trening wytrzymałościowy mięśni oddechowych, normokapniczna hiperwentylacja, SpiroTiger.

**Wnioski.** Monitorowanie i dokumentowanie zmian czynności płuc i mięśni oddechowych oraz wytrzymałości pod wpły-

**Mailing address / Adres do korespondencji:** Lidia Perenc, Institute of Physiotherapy, University of Rzeszow, Warszawska 26A, 35-205 Rzeszow, Poland, Phone: (+48) 17-872-1920, e-mail: [lidiaadam.perenc@wp.pl](mailto:lidiaadam.perenc@wp.pl)

Participation of co-authors / Udział współautorów: A – preparation of a research project / przygotowanie projektu badawczego; B – collection of data / zbieranie danych; C – statistical analysis / analiza statystyczna; D – interpretation of data / interpretacja danych; E – preparation of a manuscript / przygotowanie manuskryptu; F – working out the literature / opracowanie piśmiennictwa; G – obtaining funds / pozyskanie funduszy

Received / Artykuł otrzymano: 5.03.2016 | Accepted / Zaakceptowano do publikacji: 1.06.2016

Publication date / Data publikacji: june / czerwiec 2016

respiratory muscle endurance and ability to perform the effort was observed in the athletes, healthy adults and chronically ill patients under the influence of the training.

**Keywords:** respiratory muscles endurance training, normocapnic hyperventilation, SpiroTiger

## Introduction

Advantages of different kinds of respiratory muscle training (RMT) have been known for 50 years. Already in 1976, Leith and Bradley proved that strength and endurance of the respiratory muscles in young healthy volunteers could be trained with the help of respiratory muscle endurance training (RMET). Maximum inhalations and exhalations repeated at a certain time, additionally with controlled concentration of carbon dioxide in the inhaled air, with the use of proper equipment to conduct training enabled voluntary isocapnic hyperpnea training (VIHT) [1].

Gradually, it has been demonstrated that there is a correlation between the respiratory muscles fatigue and exercise tolerance in patients exhibiting both sedentary and active lifestyle. Respiratory muscle fatigue contributes to hyperventilation, which limits the performance of exercise at the anaerobic threshold (AT) in both groups. Properly selected RMET helped to improve the capacity for physical exertion and prolonged the time of its execution. It was possible owing to the optimum ratio between the number of breaths, their depth and improved coordination between respiratory movement, and the entire body movements [2, 3]. In 1992 Urs Boutellier and Christina Spengler's cooperation resulted in the construction of SpiroTiger training device that mimics the natural process of breathing. It consisted of a subunit which mixes gases, regulates their concentration and flow of gas mixture, respiratory rate, tidal volume, and allows biofeedback training. Currently, SpiroTiger device is commonly used for RMET [2].

## Aim of the study

To analyze the available data on monitoring and documenting of changes in the lung and respiratory muscle function, and endurance changes under the influence of RMET consistent with the evidence-based medicine (EBM). Presentation of changes in the lung and respiratory muscle function and endurance under the influence of RMET in the athletes, healthy and chronically ill subjects. Demonstration of actions specific to RMET as compared to the other types of RMT in the athletes, healthy individuals and chronically ill.

## Material and methods

Literature research in the PubMed database. Searches were conducted numerously in a period from November 2015 to January 2016. The following keywords were used: respiratory muscles endurance training, normocapnic

wem treningu można prowadzić w sposób zgodny z medycyną popartą faktami. Pod wpływem treningu u sportowców i osób dorosłych, zdrowych oraz u przewlekle chorych następuje poprawa wytrzymałości mięśni oddechowych i zdolności do wykonywania wysiłku.

**Słowa kluczowe:** trening wytrzymałościowy mięśni oddechowych, normokapniczna hiperwentylacja, SpiroTiger

## Wprowadzenie

Zalety różnych rodzajów treningu mięśni oddechowych (*respiratory muscle training, RMT*) znane są od 50 lat. Już w 1976 roku Leith i Bradley udowodnili, że można kształtować siłę i wytrzymałość mięśni oddechowych u młodych, zdrowych ochotników za pomocą treningu wytrzymałości mięśni oddechowych (*respiratory muscle endurance training, RMET*). Powtarzające się w określonym czasie maksymalne wdechy i wydechy, z dodatkowo kontrolowanym stężeniem dwutlenku węgla w powietrzu wdychanym, z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu treningowego umożliwiły przeprowadzenie normokapniczej hiperwentylacji (*voluntary isocapnic hyperpnea training, VIHT, normocapnic hyperpnoea training, NHT*) [1].

Stopniowo wykazano, że istnieje zależność pomiędzy zmęczeniem mięśni oddechowych a tolerancją wysiłku zarówno u osób wykazujących sedentaryjny tryb życia, jak i aktywny. Zmęczenie mięśni oddechowych przyczynia się do hiperwentylacji, która ogranicza wydajność ćwiczeń na poziomie progu beztlenowego (*anaerobic threshold, AT*) w obu grupach. Odpowiednio dobrany RMET pozwolił na poprawę zdolności do podejmowania wysiłku fizycznego i wydłużył czas jego wykonywania. Stało się to możliwe dzięki osiągnięciu optymalnej proporcji pomiędzy liczbą oddechów, a ich głębokością oraz poprawą koordynacji pomiędzy ruchami oddechowymi a ruchami całego ciała [2, 3]. Wspólne badania Ursy Boutelliera i Christiny Spengler prowadzone w 1992 roku zaowocowały konstrukcją urządzenia treningowego naśladującego naturalny proces oddychania. Składało się ono z podjednostki mieszającej gazy, regulującej stężenie i przepływ mieszaniny gazów oddechowych, częstość oddychania, objętość oddechową, umożliwiało ćwiczenia z biofeedbackiem. Obecnie urządzenie to (SpiroTiger) jest powszechnie stosowane do RMET [2].

## Cel pracy

Przeanalizowanie dostępnych danych na temat monitorowania i dokumentowania zmian czynności płuc i mięśni oddechowych oraz zmian wytrzymałości pod wpływem RMET, zgodnych z medycyną opartą na faktach (*evidence based medicine, EBM*). Przedstawienie zmian czynności płuc i mięśni oddechowych oraz zmian wytrzymałości pod wpływem RMET u sportowców i osób zdrowych oraz przewlekle chorych. Wykazanie specyficznego działania RMET w porównaniu do innych rodzajów RMT u sportowców i osób zdrowych oraz przewlekle chorych.

hyperventilation, SpiroTiger. The analyzed articles had mainly research character.

## Literature Research

**Tests evaluating the application of respiratory training.** Different systems for monitoring and documenting of the changes obtained after the respiratory training were selected and developed in order to examine the effectiveness of RMET.

Basic vital signs and anthropometry were measured: breathing rate ( $f_R$ ), heart rate (HR), blood pressure (BP), oxygen saturation ( $SpO_2$ ) and body weight, body height, BMI [2, 4–14], skinfolds thickness [5], chest circumference [5].

In order to determine the respiratory ventilation reserves and their changes after the exercises by spirometry (pulmonary function tests, PFTS) the following measurements were made: lung volume, lung capacity and air flow in the lungs and bronchi in the various phases of the respiratory cycle. The following spirometric parameters were assessed: forced vital capacity (FVC), forced inspiratory volume in the first second ( $FIV_1$ ), forced expiratory volume in the first second ( $FEV_1$ ), peak expiratory flow (PEF), vital capacity (VC), tidal volume ( $TV$ ,  $V_T$ ), inspiratory and expiratory reserve volume (IRV, ERV), residual volume (RV), total lung capacity (TLC), maximum voluntary ventilation (MVV), minute ventilation ( $V_E$ ) [2–16].

The parameters:  $TV$ ,  $f_R$ ,  $V_E$ , and the ratio of  $V_E / TV$  were used to track breathing pattern [2–16]. Chest expansion was determined by means of the difference in TLC and RV chest circumferences [5].

Breathing muscles are involved in the breathing mechanics. The inspiratory respiratory muscles include: diaphragm, external intercostal muscles, and – in addition to those – pectoralis major and minor, serratus anterior, latissimus dorsi, serratus posterior superior, sternocleidomastoid, infrahyoid and scalene muscles. The expiratory muscles include: internal intercostal muscles, in addition: subcostal muscle, transversus thoracis muscle, anterior and lateral abdominal muscles, latissimus dorsi and serratus posterior inferior. Inhalation is an active action, therefore it requires muscle work. Mainly the diaphragm and, to a lesser extent, external intercostal, internal muscles, scalene muscles, and all muscles with attachments in the sternal area are active during relaxed breathing. Deep dorsal muscles straighten the trunk during deep breathing. Exhale is considered to be a passive action. However, inspiratory muscle function increases during exercise, additionally inhalation muscles activity is activated. Proper breathing muscles (diaphragm, internal and external intercostal muscles) differ from other skeletal muscles with dual control: arbitrary and autonomous [17].

Mutual thoracoabdominal coordination during breathing can be determined on the basis of the analysis of the phase angle of the Lissajous figure (PHA) by means

## Materiał i metoda

Przegląd piśmiennictwa z wykorzystaniem bazy danych PubMed. Wyszukiwania dokonywano wielokrotnie w okresie od listopada 2015 do stycznia 2016 roku. Wykorzystywano następujące słowa kluczowe: trening wytrzymałościowy mięśni oddechowych, normokapniczna hiperwentylacja, SpiroTiger. Analizowane artykuły miały głównie charakter badawczy.

## Przegląd piśmiennictwa

**Testy oceniające zastosowanie treningu respiracyjnego.** Aby zbadać skuteczność RMET dobrano i opracowano różne systemy monitorowania i dokumentowania uzyskanych zmian po treningu.

Tradycyjnie dokonano podstawowych pomiarów parametrów życiowych: częstości oddechów (*breathing rate*,  $f_R$ ), tętna (*heart rate*, HR), ciśnienia krwi (*blood pressure*, BP), wysycenia krwi tlenem (*oxygen saturation*,  $SpO_2$ ) i antropometrycznych: masy ciała, wysokości ciała, BMI [2, 4–14], grubości fałdów skórno-tłuszczowych [5], obwodu klatki piersiowej [5].

W celu określenia rezerw wentylacyjnych układu oddechowego i ich zmiany pod wpływem treningu za pomocą spirometrii (*pulmonary function tests*, PFTs) dokonano pomiarów: objętości i pojemności płuc oraz przepływu powietrza znajdującego się w płucach i oskrzelach, w różnych fazach cyklu oddechowego. Spośród parametrów spirometrycznych oceniono: natężoną pojemność życiową (*forced vital capacity*, FVC), natężoną objętość wdechową jednosekundową (*forced inspiratory volume in the first second*  $FIV_1$ ), natężoną objętość wydechową jednosekundową (*forced expiratory volume in the first second*  $FEV_1$ ), szczytowy przepływ wydechowy (*peak expiratory flow*, PEF), pojemność życiową (*vital capacity*, VC), objętość oddechową (*tidal volume*,  $TV$ ,  $V_T$ ), zapasową objętość wdechową i wydechową (*inspiratory and expiratory reserve volume*, IRV, ERV), objętość zalegającą (*residual volume*, RV), całkowitą pojemność płuc (*total lung capacity*, TLC), maksymalną dowolną wentylację (*maximal voluntary ventilation*, MVV), wentylację minutową (*minute ventilation*,  $V_E$ ) [2–16].

Parametry:  $TV$ ,  $f_R$ ,  $V_E$  oraz iloraz  $V_E / TV$  wykorzystano do charakterystyki toru oddechowego (*ventilatory pattern*, *breathing pattern*) [2–16]. Za pomocą różnicy w obwodach klatki piersiowej na poziomie objętości TLC i RV określano ekspansję klatki piersiowej [5].

W mechanikę oddychania zaangażowane są mięśnie oddechowe. Do mięśni oddechowych wdechowych zaliczamy: przeponę, mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne, dodatkowo: mięsień piersiowy większy i mniejszy, zębaty przedni, mięsień najszerszy grzbietu, zębaty tylny górny, mostkowo-obojczykowo-sutkowy, mięśnie podgnykowe, pochyłe szyi. Do mięśni wydechowych zaś: międzyżebrowe wewnętrzne, dodatkowo: podżebrowe, poprzeczny klatki piersiowej, grupy przedniej i bocznej brzucha oraz

of respiratory inductive plethysmography (RIP). These movements can be synchronous, paradoxical or asynchronous [8]. The asynchronous and paradoxical breathing movements are considered to be not only a result of respiratory muscle fatigue, but also they may result from too heavy training loads during RMT [18].

The evaluation of respiratory muscle function enables the measurement of esophageal twitch pressure ( $P_{oes, tw}$ ) and intragastric twitch pressure ( $P_{ga, tw}$ ).  $P_{oes, tw}$  and  $P_{ga, tw}$  pressure difference corresponds to the transdiaphragmatic twitch pressure ( $P_{di, tw}$ ) [13, 19]. Conducting the test requires insertion of a catheter into the esophagus and stomach.

$P_{oes, tw}$  and  $P_{ga, tw}$  measurements were made after magnetic stimulation of the spinal nerve roots C7 and Th10 every 8 minutes during the respiratory muscles endurance test, at the time fatigue was reported and 30<sup>th</sup> and 60<sup>th</sup> minute of rest. Magnetostimulation of C7 roots that innervate the diaphragm is carried out in sitting, while Th10 roots innervating the abdominal muscles in prone. Magnetostimulation was carried out at FRC capacity with a closed airway lumen. It was repeated three times in three series. The patient performed three five-second deep inhalations before the first series of cervical stimulations, whereas before the first of three thoracic stimulations – exhalation with a closed airway lumen were performed. Before the next two sets, breathing maneuvers were repeated once. The impulses of decreasing power: 100%, 98%, 94%, 90%, 80% and 70% – six times each were used in the series of magnetostimulation after the test [13].

New non-invasive method of respiratory muscle function assessment is mid-infrared band thermography. It allows to register the quantity of the thermal radiation emitted by the human body. A thermographic map can be presented on the skin of the trunk. The more breathing muscles were involved in respiration, the more they were bloodshot and more heat they emitted. This resulted in changes in the skin temperature and thermographic map. Regions of interest (ROI) corresponding to the respiratory muscles in anatomical and functional way are particularly interesting. Thermographic map may be recorded before, during and after the training session. Statistical results obtained before and after the training cycle consisting of multiple sessions can be registered, compared and elaborated [20].

It is important to assess the strength, endurance and fatigue of the respiratory muscles. Strength and endurance characterize the ability of the respiratory muscles to exercise. The value of the strength and endurance of the respiratory muscles can be measured. Respiratory muscle strength is determined on the basis of static measurements (maximal inspiratory pressures, MIP, P<sub>imax</sub> and maximum expiratory pressure, MEP, P<sub>e<sub>max</sub></sub>) or dynamic measurements (MVV) [2–17, 21]. Static measurement is carried out using a manometer, pressure [cm H<sub>2</sub>O] is

mięsień najszerzy grzbietu, mięsień zębaty tylny dolny. Wdech jest aktem czynnym – wymaga pracy mięśni. Podczas spokojnego oddychania aktywna jest głównie przepona, w mniejszym stopniu mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne i wewnętrzne, pochyle szyi, a także wszystkie mające przyczepy w okolicy mostka. Podczas głębokiego wdechu mięśnie głębokie grzbietu prostują tułów. Wydech jest uważany za akt bierny. Jednak podczas wysiłku czynność mięśni wdechowych wzrasta, dodatkowo włącza się czynność mięśni wydechowych. Od innych mięśni szkieletowych, właściwe mięśnie oddechowe (przepona, mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne i zewnętrzne) różnią się podwójną kontrolą: dowolną i autonomiczną [17].

Wzajemną koordynację ruchów klatki piersiowej i brzucha (*thoracoabdominal coordination*) podczas oddychania można określić na podstawie analizy kąta fazowego figury Lissajous (*phase angle of the Lissajous figure, Pha*) za pomocą pletyzmografii indukcyjnej (*respiratory inductive plethysmography, RIP*). Ruchy te mogą być synchroniczne, paradoksalne lub asynchroniczne [8]. Wiadomo, że ruchy oddechowe paradoksalne i asynchroniczne są wynikiem nie tylko zmęczenia mięśni oddechowych, ale również zbyt dużych obciążeń treningowych w trakcie RMT [18].

Ocenę czynności mięśni oddechowych umożliwia pomiar ciśnienia skurczowego wewnątrzprzełykowego (*oesophageal twitch pressure,  $P_{oes, tw}$* ) i wewnątrzżołądkowego (*intragastric twitch pressure,  $P_{ga, tw}$* ). Różnica ciśnień  $P_{oes, tw}$  i  $P_{ga, tw}$  odpowiada ciśnieniu przeprzeponowemu (*transdiaphragmatic twitch pressure,  $P_{di, tw}$* ) [13, 19]. Przeprowadzenie badania wymaga założenia cewnika do przełyku i żołądka. Pomiarów  $P_{oes, tw}$  i  $P_{ga, tw}$  dokonuje się po stymulacji magnetycznej korzeni nerwów rdzeniowych C<sub>7</sub> i Th<sub>10</sub> co 8 minut podczas testu wytrzymałościowego mięśni oddechowych, w momencie zgłoszenia zmęczenia oraz w 30 i 60 minucie odpoczynku. Magnetostymulację korzeni C<sub>7</sub> unerwiających przeponę przeprowadza się w pozycji siedzącej, korzeni Th<sub>10</sub> unerwiających mięśnie brzucha w pozycji leżącej, pronacyjnej. Magnetostymulację wykonuje się na poziomie pojemności FRC, przy zamkniętym świetle dróg oddechowych. Powtarza się ją trzykrotnie w trzech seriach. Przed pierwszą serią trzech stymulacji szyjnych pacjent wykonuje trzy pięciosekundowe głębokie wdechy, a przed pierwszą z trzech stymulacji piersiowych – wydechy, przy zamkniętym świetle dróg oddechowych. Przed kolejnymi dwoma seriami manewry oddechowe powtarza się jeden raz. W seriach magnetostymulacji prowadzonych po zakończeniu testu wykorzystuje się impulsy o malejącej mocy: 100%, 98%, 94%, 90%, 80% i 70%, po sześć razy każdy [13].

Nową, nieinwazyjną metodą oceny czynności mięśni oddechowych jest termografia w paśmie średniej podczerwieni (*infrared thermography*). Pozwala ona na ilościową rejestrację promieniowania cieplnego emitowanego przez ciało człowieka. Na skórze tułowia można

measured in the oral cavity: MIP on the level of RV and MEP at the level of TLC. MVV measurement [l / min] is performed during spirometry within 12 [5, 6, 9, 11, 12, 14], 15 [1, 7, 13] or 20 [2] seconds. A methodology of measurements, subject's motivation, gender and age have impact on the value of MIP and MEP [17].

Respiratory muscles develop fatigue with exercise. On the one hand, it is related to their work and gradual accumulation of metabolites, on the other hand competitive increase in blood flow through the capillaries of skeletal muscles in the extremities. In response to the accumulation of metabolites in the respiratory muscles, the muscles get hyperaemia at the expense of the blood flow through skeletal muscles of the limbs. The accumulation of metabolites in the inspiratory muscles during exercise activates respiratory muscle metaboreflex and stimulates sympathetic system, which leads to a generalized vasoconstriction and reduced blood flow through the vessels of the limbs, and this in turn leads to increased sensation of fatigue. Increased concentration of lactic acid (LA) results in stimulation of the inspiratory muscle conducted by afferent fibers type IV resulting in stimulation of the sympathetic system and contraction of blood vessels of the limbs. Measurement of respiratory muscle fatigue is conducted based on the difference in MIP measurements before and after exercise. The degree of respiratory muscles fatigue depends on the exercise protocol and the level of patients' fitness [5, 17, 19, 22].

The endurance of the respiratory muscles can be assessed by the maximum tolerated load at a specific time or expressed as a time in which a certain load is maintained. There is a positive correlation between endurance and muscle strength [17]. The respiratory endurance test (RET) is based on estimation of the maximum sustainable ventilation (MSV) and requires performing prior spirometry and defining TV, MVV,  $V_E$ . SpiroTiger device is used during the test. The volume of the reservoir bag is set at 40–50% TV and the output  $V_E$  is programed at 20% MVV. Then,  $V_E$  is increased during exercise every 3 minute by 10% MVV until the inability to maintain a pre-determined  $V_E$ . MSV is calculated for the last 10 breaths and the highest well-tolerated MVV value. The measure of the respiratory muscles endurance is the time until test termination (a test to the limit of tolerance, T<sub>lim</sub>) and the product of T<sub>lim</sub> and  $V_E$ . RET was often modified [2, 5–14]. Monitoring of end-tidal CO<sub>2</sub> partial pressure ( $P_{ET} CO_2$ ) [2, 8, 11–15] during RET enables to maintain isocapnia. Muscle function can be assessed by measuring  $P_{oes, tw} P_{ga, tw} P_{di, tw}$  after the magnetic stimulation of C7 and Th10 spinal nerve roots every 8 minutes not only during RET, but also at the time of reporting fatigue, and 30<sup>th</sup> and 60<sup>th</sup> minute of the rest [13]. It is possible to monitor LA levels in serum during RET [2, 5, 7, 13, 15].

The inspiratory muscle endurance test (incremental TL) is carried out using threshold loading (TL) device

przedstawić mapę termograficzną. Im mięśnie oddechowe są bardziej zaangażowane w czynności oddechowej, tym bardziej są przekrwione, tym więcej emitują ciepła. Dochodzi do zmian temperatury skóry, zmiany mapy termograficznej. Szczególnie interesujące są określone jej regiony (*regions of interest, ROI*) odpowiadające w sposób anatomiczny i funkcjonalny mięśniom oddechowym. Mapa termograficzna może być rejestrowana przed sesją treningową, w trakcie i po sesji. Można zarejestrować, porównać i opracować statystycznie wyniki uzyskane przed i po cyklu treningowym złożonym z wielu sesji [20].

Istotna jest ocena siły, wytrzymałości i zmęczenia mięśni oddechowych. Siła i wytrzymałość charakteryzują zdolność wysiłkową mięśni oddechowych. Wielkość siły i wytrzymałości mięśni oddechowych można zmierzyć. Siłę mięśni oddechowych określa się na podstawie pomiarów statycznych (maksymalnego ciśnienia wdechowego – *maximal inspiratory pressures, MIP, P<sub>i max</sub>* oraz maksymalnego ciśnienia wydechowego – *maximal expiratory pressures, MEP, P<sub>e max</sub>*) lub pomiarów dynamicznych (MVV) [2–17, 21]. Pomiarów statycznych dokonuje się za pomocą manometru, ciśnienia [cm H<sub>2</sub>O] mierzy się w jamie ustnej: MIP na poziomie objętości RV, a MEP na poziomie pojemności TLC. Pomiaru MVV [l/min] dokonuje się podczas badania spirometrycznego w ciągu 12 [5, 6, 9, 11, 12, 14], 15 [1, 7, 13] lub 20 [2] sekund. Wpływ na wartości MIP i MEP mają metodyka pomiarów, motywacja badanego, płeć i wiek [17].

Mięśnie oddechowe podczas wysiłku fizycznego ulegają zmęczeniu, co jest związane z ich narastającą pracą i ze stopniowym gromadzeniem metabolitów z jednej strony, a konkurencyjnie zwiększającym się przepływem krwi przez naczynia włosowate mięśni szkieletowych kończyn z drugiej strony. W odpowiedzi na nagromadzenie się metabolitów w mięśniach oddechowych dochodzi do ich przekrwienia, kosztem ograniczenia przepływu krwi przez mięśnie szkieletowe kończyn. Nagromadzenie metabolitów w mięśniach wdechowych podczas wysiłku uruchamia odruch metabotropowy (*respiratory muscle metaboreflex*) i stymulację układu współczulnego, co prowadzi do uogólnionego skurczu naczyń i zmniejszenia przepływu krwi przez naczynia kończyn, a to z kolei prowadzi do zwiększenia odczucia zmęczenia. Wzrost stężenia kwasu mlekowego (*the lactate acid, LA*) w mięśniach wdechowych powoduje pobudzenie przewodzone włóknami aferentnymi typu IV, co skutkuje pobudzeniem układu współczulnego i skurczem naczyń krwionośnych kończyn. Pomiar zmęczenia mięśni oddechowych ocenia się na podstawie różnicy pomiarów MIP dokonanych przed i po wysiłku. Stopień zmęczenia mięśni oddechowych zależy od zastosowanego protokołu wysiłkowego i poziomu wytrenowania badanych [5, 17, 19, 22].

Wytrzymałość mięśni oddechowych może być oceniona maksymalnym obciążeniem tolerowanym w określonym czasie lub wyrażona jako czas, w którym utrzymane

constructed in accordance with the specification by Nickerson and Keens. The size of the inspiratory pressure can be increased by adjusting the load on the piston closing the fresh air intake. The initial pressure is about 20% MIP. The load is increased every 2 min by 50% of the initial load, until the subject is no longer able to breathe. The greatest load with which the subject continues to breathe for at least 1 minute is a measure of the inspiratory muscles endurance [11].

To evaluate the endurance the following tests are used: walking on a treadmill [8, 9, 11], the ergometer [2,9] bike [14], hand bike [23], running on the treadmill [7], with a constant work-rate exercise test (CWE) - 80% of maximum oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) [2, 7, 8, 14], or incremental test to 100%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [7–9, 11,23]. These tests are open ended determined by a subjective feeling of fatigue or dyspnea. The measure of endurance are  $T_{\text{Lim}}$ ,  $V_{\text{Lim}}$  determined during the test. Other tests are also used in order to determine the capacity. The time trial test consists in performing a particular task or covering a certain distance as quickly as possible. The quantity required in subsequent attempts does not change, and improved efficiency is proved by shortening of performance time. A given distance was covered in cycling [14], or swimming tests [5]. An example of a distance trial test is 6 Minute Walk Test (6MWT). The improved efficiency is indicated by covering a greater distance in 6 minutes [6, 8, 11].

During and after the diagnostic tests (RET, incremental TL, open-ended tests) severity of dyspnea was assessed in a 10-point author's scale [5], visual analogue scale (VAS) [3] or MRC scale (Medical Research Council) [6,13], Borg Rating of Perceived Exertion [5, 8, 9]. Similarly, VAS [16], Mahler's Baseline Dyspnea Index and Mahler's Transition Dyspnea Index [11] are used to assess the dyspnea prevalence before and after RMET. The sense of the symptoms resulting from the respiratory system dysfunction was measured with the Index of Pulmonary Dysfunction [12].

Changes in aerobic fitness of the body before and after RMET can be made on the basis of the oxygen threshold - maximal oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) [ml / min / kg]. This indicator is a measure of uptake, transport and use of oxygen by the tissue during prolonged exercise. It can be determined during maximum intensity oxygen exertion [2, 3, 7, 9, 11, 14, 24]. The accumulation of lactic acid in serum [mmol / l], and thus monitoring of the passage of aerobic exercise and the lactate threshold (LT) [3, 5, 7, 13, 15, 24] also raises interest. During exercise with increasing intensity continued above the lactate threshold, the volume of generated carbon dioxide output ( $\text{VCO}_2$ ) [ml / min / kg] is the result of the on-going oxygen transition and further utilization of accumulated lactic acid. Therefore, a more precise method of determining anaerobic threshold is to determine the ventilatory threshold (VT) [9]. This is the point at which  $\text{VCO}_2$  increases more than

jest określone obciążenie. Pomiędzy wytrzymałością a siłą mięśni istnieje dodatnia korelacja [17]. Test wytrzymałości mięśni oddechowych (*respiratory endurance test, RE test, RET*) opiera się na oszacowaniu maksymalnej zrównoważonej wentylacji (*maximum sustainable ventilation, MSV*) i wymaga wcześniejszego wykonania badania spirometrycznego i określenia TV, MVV,  $V_E$ . Podczas testu wykorzystuje się urządzenie SpiroTiger. Objętość worka oddechowego ustawia się na poziomie 40–50%TV, a wyjściową  $V_E$  programuje na poziomie 20%MVV. Następnie podczas wysiłku zwiększa się  $V_E$  co 3 minuty o 10%MVV, aż do momentu niemożności utrzymania zadanej  $V_E$ . MSV oblicza się dla ostatnich 10 oddechów i najwyższej, dobrze tolerowanej wartości MVV. Miarą wytrzymałości mięśni oddechowych jest czas od rozpoczęcia do zakończenia testu (*endurance time, time until test termination, test to the limit of tolerance,  $T_{\text{Lim}}$* ) oraz iloczyn  $T_{\text{Lim}}$  i  $V_E$  (*endurance volume, total volume breathed during the test,  $V_{\text{Lim}}$* ). Często modyfikowano RET [2,5-14]. Monitorowanie podczas RET końcowo-wydechowego ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla (*end-tidal  $\text{CO}_2$  partial pressure,  $P_{\text{ETCO}_2}$* ) [2, 8, 11–15] umożliwia utrzymanie izokapnii. Czynność mięśni oddechowych można ocenić, mierząc  $P_{\text{oes, tw}}$ ,  $P_{\text{ga, tw}}$ ,  $P_{\text{di, tw}}$  po stymulacji magnetycznej korzeni nerwów rdzeniowych  $C_7$  i korzeni nerwów rdzeniowych  $\text{Th}_{10}$  co 8 minut nie tylko podczas RET, ale także w momencie zgłoszenia zmęczenia oraz w 30 i 60 minucie odpoczynku [13]. Możliwe jest monitorowanie podczas RET stężenia LA w surowicy krwi [2, 5, 7, 13, 15].

Test wytrzymałości mięśni wdechowych (*the inspiratory muscle endurance test, incremental TL*) przeprowadza się z wykorzystaniem urządzenia threshold loading (TL) zbudowanego zgodnie ze specyfikacją Nickerson'a i Keens'a. Wielkość ciśnienia wdechu zwiększa się, regulując obciążenie tłoka zamykającego zawór wdechowy. Ciśnienie początkowe wynosi około 20%MIP. Obciążenie zwiększa się co 2 min o 50% obciążenia początkowego, aż do momentu, kiedy badany nie jest w stanie dalej oddychać. Największe obciążenie, z jakim badany kontynuuje oddychanie przez co najmniej 1 minutę stanowi miarę wytrzymałości mięśni wdechowych [11].

Do oceny wytrzymałości stosowane są testy: marszowy na bieżni [8, 9, 11], cykloergometr [2,9], rowery [14], rowerze ręcznym [23], biegowy na bieżni [7], ze stałym obciążeniem (*a constant-load endurance exercise test, a constant work-rate exercise test, CWE*) – 80% maksymalnego poboru tlenu ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) [2, 7, 8, 14], czy z narastającym obciążeniem (*incremental test*) do 100% $\text{VO}_{2\text{max}}$  [7–9, 11, 23]. Testy te opierają się na otwartym punkcie końcowym (*open ended tests*), określonym subiektywnym uczuciem zmęczenia czy duszności. Miarą wytrzymałości są wyznaczone podczas testu  $T_{\text{Lim}}$ ,  $V_{\text{Lim}}$ . W celu określenia wydolności wykorzystywane są również inne testy. Test typu próba czasu (*the time trial test*), w którym zadanie polega na wykonaniu określonej pracy lub na pokonaniu

$\text{VO}_2$ . Hyperventilation allows to eliminate the resulting carbon dioxide. Respiratory compensation point (RC) [9] is the beginning of hyperventilation, it determines the point of intersection of  $V_E$  and  $\text{VCO}_2$  on the linear graph. The exertion contributes to the increased demand for oxygen in the body. Demand for oxygen of the respiratory muscles varies from 3–5% to 13–16%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  with the exercise intensity from low to maximum [24].

The influence of RMET on quality of life was also taken into account. The quality of life was evaluated by means of the following scales: SF-36 [6], SF-12 (mental and physical component) [11], the St George Respiratory Questionnaire (SGRQ) [8].

**Research on the application of RMET training in athletes and healthy people.** RMET was valued as important in shaping the endurance in athletes. Lemaitre et.al. organized a study on the introduction of additional RMT in young middle distance swimmers. It was assumed that the introduction of RMET would increase the respiratory muscles endurance, delay the occurrence of metabotropic reflex and fatigue sensation in the limbs that prevent the continuation of swimming. RMET was scheduled for 30 minutes a day, 5 days a week for 8 weeks. The following training parameters were adopted:  $V_E$  – 60% of MVV, reservoir bag capacity 40–50% of the TV. It was demonstrated that the introduction of RMET for intensive daily training improved the chest expansion, FVC, MVV, MIP, MEP, in addition  $V_E$ , TV and lengthened  $T_{\text{lim}}$  increased in RET, which also corresponds to the improvement in the respiratory muscles strength and endurance. Young swimmers trained by the modified method achieved better times in short and medium swimming distance tests (50, 200 meters) than those trained without RMET [5].

Similar results were obtained by Bernardi et.al. Twenty men training triathlon were randomly divided into two groups. In ten of them their daily training was supplemented with five-week RMET performed daily during 20-minute session with increasing load (from 50% MVV) at a constant reservoir bag volume (60% TV). The rest of the subjects continued daily workout without modification. A significant increase in MIP was achieved. The increase in load tolerance and speed, reduction of  $V_E$  / TV ratio,  $\text{VO}_2$  were achieved in capacity test on a treadmill, on the ergometer with increasing load to 100%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . A negative correlation between MIP and  $V_E$  was found. A positive correlation between  $V_E$  and  $\text{VO}_2$  was found during a stress test on a treadmill with increasing load. RMET allowed to increase the capacity and efficiency of ventilation due to improved respiratory muscles endurance and breathing pattern [9].

Walker et al. showed that independent of the will action of the diaphragm did not change on the basis of  $P_{\text{di, tw}}$  measurement after six-week RMET in athletic patients [19].

określonej odległości, tak szybko jak to możliwe. Wielkość zadana w kolejnych próbach nie zmienia się, a o poprawie wydolności świadczy skrócenie czasu wykonania zadania (*performance time*). W testach rowerowych [14] czy pływackich pokonano zadany dystans [5]. Przykładem testu typu próba dystansu (*the distance trial test*) jest test sześciominutowego marszu (test marszowy, korytarzowy, *6 Minute Walk Test*, *6MWT*). O poprawie wydolności świadczy pokonanie większego dystansu w czasie 6 minut [6, 8, 11].

W czasie trwania i po zakończeniu testów diagnostycznych (*RET*, *incremental TL*, *open ended tests*) ocenia się stopień nasilenia duszności w 10 stopniowej skali własnej [5], wizualnej analogowej skali (*visual analogue scale*, *VAS*) [3] lub skali MRC (*Medical Research Council*) [6, 13], czy stopień narastania duszności i zmęczenia w skali Borga [5, 8, 9]. Podobnie do oceny występowania duszności przed i po RMET stosuje się skalę VAS [16], skale: Mahler's Baseline Dyspnea Index i Mahler's Transition Dyspnea Index [11]. Poczucie objawów wynikających z dysfunkcji układu oddechowego mierzono w skali *the Index of Pulmonary Dysfunction* [12].

Zmiany wydolności tlenowej (aerobowej) organizmu przed i po RMET można dokonać na podstawie oceny pułapu tlenowego – maksymalnego poboru tlenu (*maximal oxygen consumption*, *maximal oxygen uptake*,  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) [ml/min/kg]. Wskaźnik ten jest miarą poboru, transportu i wykorzystania tlenu przez tkanki podczas długotrwałego wysiłku. Można go wyznaczyć podczas wysiłku tlenowego o maksymalnej intensywności [2, 3, 7, 9, 11, 14, 24]. Zainteresowanie budzi również nagromadzenie kwasu mlekowego w surowicy krwi [mmol/l], a tym samym monitorowanie przejścia wysiłku aerobowego w anaerobowy i progu mleczanowego (*the lactate threshold*, *LT*) [3, 5, 7, 13, 15, 24]. Podczas wysiłku ze wzrastającą intensywnością, kontynuowanego powyżej progu mleczanowego, objętość wytwarzanego dwutlenku węgla (*carbon dioxide output*,  $\text{VCO}_2$ ) [ml/min/kg] wynika z nadal trwających przemian tlenowych oraz dodatkowo utylizacji nagromadzonego kwasu mlekowego. Stąd bardziej precyzyjnym sposobem wyznaczenia progu przemian beztlenowych jest określenie progu wentylacyjnego (*the ventilatory threshold*, *VT*) [9]. Jest to punkt, od którego przyrosty  $\text{VCO}_2$  są większe niż  $\text{VO}_2$ . Hiperwentylacja umożliwia wyeliminowanie powstałego dwutlenku węgla. Punkt kompensacji oddechowej (*respiratory compensation point*, *RC*) [9] to początek hiperwentylacji, wyznacza go punkt przecięcia liniowego wykresu  $V_E$  i  $\text{VCO}_2$ . Wysiłek przyczynia się do zwiększonego zapotrzebowania organizmu na tlen. W miarę wzrostu intensywności wysiłku od niskiej do maksymalnej zapotrzebowanie mięśni oddechowych na tlen zmienia się od 3–5% do 13–16%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [24].

Brano również pod uwagę wpływ RMET na jakość życia. Do oceny jakości życia stosowano skale: SF-36 [6], SF-12 (*mental and physical component*) [11], The St

What is interesting is the effect of different types of RMT on respiratory muscle fatigue and accumulation of lactic acid in athletes. Uemura et al. attempted to compare two types of RMT. They developed a series consisting of 12 half-an-hour sessions of resistive respiratory muscle training (RRMT) during 4 weeks, followed by 12 half-an-hour sessions of RMET in another 4 weeks. The training loads were as follows in RRMT: resisted inhalation – 60% MIP, resisted exhalation – 60% MEP, inspiratory volume – 100% VC, the time of resisted breath 10 seconds, then pause – 30 seconds of free breathing. The following load was assumed in RMET:  $f_R$  30 / min,  $V_E$  40% MVV. The study group consisted of eight experienced distance runners (4 men and 4 women), with weekly training load of 35-55 miles, 70-80%  $VO_{2max}$ . No statistically significant differences in the values of HR, stroke volume, FEV<sub>1</sub>, FVC,  $VO_{2max}$ , LA level in serum – marked at rest and during endurance running before RMT, after RRMT and after RMET were found. MIP, MEP improved significantly after RRMT. A significant increase in MVV,  $V_E$ ,  $T_{lim}$  and prolonged endurance race time were achieved with a sub-maximal load – 80%  $VO_{2max}$  after RMET [7].

Holm et al., allocated randomly 20 healthy professional cyclists into 3 groups: the test group - 10 persons (RMET was divided into twenty 45-minute sessions), sham-training group (sh-t) – 4 persons (RMET consisted of twenty 5-minute sessions), and the control group - 6 persons (without RMET). All subjects were the same age, male dominating and, they had correct spirometric parameters and  $VO_{2max}$  values. MIP, MEP did not change after both types of training and in the control group. MSV increased significantly after RMET. Athletes after RMET were the only ones to improve the results in endurance test – covered a given distance by bike in a shorter period of time. The improvement was statistically significant. The athletes subjected to RMET obtained increase in  $V_E$  (significant statistical increase in  $f_R$ , no change in TV) and  $VO_2$ . The correlation between  $V_E$  and the time of performance in the endurance trial was negative and statistically significant. The results suggested that RMET improved endurance in athletes. This effect resulted from the improved tolerance of higher  $V_E$  values during exercise [14].

Verges et al. compared two training methods: RMET and inspiratory muscle resistive training (IMRT) in healthy individuals. A group of 26 healthy subjects were randomly divided into three subgroups. RMET was carried out in the first group, IMRT in the second and sh-t in the third one. The training was scheduled for 4 weeks in case of all groups. In RMET group, twenty 30-minute training sessions were conducted over 30 days (every third day without training session).  $V_E$  corresponded to 60% of MMV, TV – 50–60% VC and  $f_R$  was adjusted individually. The second group had training 2 times a day, 15 minutes each day, by the same time, using IMRT devices

George Respiratory Questionnaire (SGRQ) [8].

**Badania nad zastosowaniem treningu RMET u sportowców i osób zdrowych.** Doceniono RMET jako istotny w kształtowaniu wytrzymałości u sportowców. Lemaître i współpracownicy (wsp.) zorganizowali badania nad wprowadzeniem dodatkowego RMT u młodych pływaków średniodystansowych. Założono, że wprowadzenie RMET zwiększy wytrzymałość mięśni oddechowych, opóźni wystąpienie odruchu metabotropowego i odczucie słabości kończyn uniemożliwiające kontynuację pływania. RMET zaplanowano na 30 minut dziennie, 5 dni w tygodniu, przez 8 tygodni. Za parametry treningowe przyjęto:  $V_E$  – 60% MVV, pojemność worka oddechowego 40–50% TV. Udowodniono, że wprowadzenie RMET do intensywnego codziennego treningu pozwoliło na poprawę ekspansji klatki piersiowej, FVC, MVV, MIP, MEP, ponadto w RET zwiększyły wartości  $V_E$ , TV oraz wydłużył się  $T_{lim}$ , co między innymi odpowiada poprawie siły i wytrzymałości mięśni oddechowych. Młodzi pływacy trenowani według zmodyfikowanej metody osiągnęli lepsze czasy w testach pływackich krótko- i średniodystansowych (50, 200 metrów) niż trenowani bez RMET [5].

Podobne wyniki uzyskali Bernardi i wsp. Dwudziestu wysportowanych mężczyzn w trójbójku podzielono losowo na dwie grupy. U dziesięciu zastosowano jako dodatek do codziennego treningu pięcioletniowy RMET, rozłożono na codzienne, dwudziestominutowe sesje, o wzrastającym obciążeniu (od 50%MVV) przy stałej objętości worka oddechowego (60%TV). U pozostałych kontynuowano codzienny trening bez modyfikacji. Uzyskano znamieny wzrost MIP. W teście wydolnościowym na bieżni, na cykloergometrze ze wzrastającym obciążeniem do 100% $VO_{2max}$  uzyskano zwiększenie tolerancji obciążenia i szybkości, obniżenie ilorazu  $V_E$ /TV,  $VO_2$ . Znalaziono ujemną korelację pomiędzy MIP a  $V_E$ . Podczas próby wysiłkowej na bieżni z narastającym obciążeniem znaleziono dodatnią korelację między  $V_E$  i  $VO_2$ . RMET pozwolił na zwiększenie wydolności i efektywności wentylacji dzięki poprawie wytrzymałości mięśni oddechowych i toru oddychania [9].

Walker i wsp. wykazali, że niezależna od woli czynność przepony na podstawie pomiaru  $P_{di, tw}$  po sześciotygodniowym RMET u osób wysportowanych nie zmieniła się [19].

Interesujący jest wpływ różnych typów RMT na zmęczenie mięśni oddechowych i gromadzenie się w nich kwasu mlekowego u sportowców. Uemura i wsp. dążyli do porównania dwóch rodzajów RMT. Opracowali oni cykl składający się z 12 półgodzinnych sesji treningu oporowego mięśni oddechowych (*resistive respiratory muscle training*, RRMT) rozłożonych w czasie 4 tygodni, a następnie z 12 półgodzinnych sesji RMET przypadających na kolejne 4 tygodnie. W RRMT obciążenia treningowe wynosiły: wdech oporowany – 60%MIP, wydech



(an inspiratory resistance-training device). The subjects were asked to perform a deep breath from the level of RV volume to TLC capacity at the fastest possible rate through a mouthpiece with a small hole. Then the curve showing the change in pressure over time and the area under the curve (AUC) were determined. The test was repeated three times. Training load was 80% of the pressure obtained at each point of time. The subject was asked to perform the following breaths mimicking the curves presented by a computer. The time of inhalation was 20 s, and the average load during a programmed inhalation accounted for approximately 65% of MIP, then a pause of 10 s to breathe freely. The cycle was repeated and one training session lasted 15 minutes. Sh-t was performed daily for 30 days using the Volumetric Incentive Spirometer (VIS). The following training load was selected: slow breathing, inhalation volume of 70% VC, repeated breaths every 30 seconds for 15 minutes 2 times a day. A significant increase in  $V_E$  was achieved after RMET training and after training IMRT. AuC, and thus MIP increased. During RMET significantly increased VC, MVV, and during IMRT: significantly increased VC and  $FEV_1$ , while PIF decreased substantially, and MVV did not change. During sh-t no change in VC, MMV,  $FEV_1$ , PIF was obtained, there was a small but statistically significant increase in PEF.  $T_{lim}$  increase was achieved, it was not achieved in RET after RMET, this parameter did not go up after sh-t. Growth of MIP, MEP, and after IMRT – MIP was obtained in RMET. RMET significantly reduces decrease in  $P_{oes}$ ,  $t_w$  during hyperventilation, which proves less fatigue of the inspiratory muscles. The increase in breathing exertion and lactate concentration during hyperventilation were significantly reduced only after RMET [13].

**Research on the use of RMET training in people with chronic diseases.** Bernardi et al. evaluated influence of RMET on the presence of the feeling of dyspnea, declines in oxygen saturation in arterial blood, fatigue of the respiratory muscles, thoraco-abdominal asynchrony (TAA) during exercise involving 20 patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The patients enrolled in the study had  $FEV_1$  values in the range 30–80%, with stable symptoms in last 6 weeks. The patients underwent ten-minute RMET sessions repeated twice a day for four weeks. Training loads were respectively:  $V_E$  50–60% MVV, the volume of the reservoir bag 50–60% VC. A significant increase in MIP,  $T_{lim}$  extension in 6MWT with a constant load of 80%  $VO_{2max}$  was achieved. When performing this test, an improvement in the respiratory pattern: higher TV, lower  $f_R$ ,  $V_E$ , moreover: the higher  $SpO_2$ , reduction of PHA (decrease in TAA) and a reduction in the severity of breathlessness in the Borg 10-point scale were found. Moreover, lengthening of 6MWT distance was observed, improved quality of life measured by SGRQ. A significant positive correlation between the TV and  $SpO_2$  was found.

oporowany – 60% MEP, objętość wdechu – 100% VC, czas trwania oddechu z oporem 10 s, następnie przerwa – 30 s swobodnego oddechu. W RMET ustalono następujące obciążenia:  $f_R$  30/min,  $V_E$  40% MVV. Grupę badaną stanowiło ośmiu doświadczonych biegaczy długodystansowych (4 mężczyzn i 4 kobiety), z tygodniowym obciążeniem treningowym 35–55 mil, 70–80%  $VO_{2max}$ . Nie stwierdzono znamiennych statystycznie różnic w wartościach HR, objętości wyrzutowej,  $FEV_1$ , FVC,  $VO_{2max}$ , poziomu LA w surowicy krwi – oznaczanych w spoczynku i podczas biegu wytrzymałościowego przed RMT, po RRMT oraz po RMET. MIP, MEP uległy znamiennej poprawie po RRMT. Uzyskano znaczne zwiększenie MVV,  $V_E$ ,  $T_{lim}$  oraz wydłużenie czasu biegu wytrzymałościowego z obciążeniem submaksymalnym – 80%  $VO_{2max}$  po RMET [7].

Holm i wsp. przydzielili w sposób losowy 20 zdrowych sportowców, rowerzystów do 3 grup: do grupy eksperymentalnej – 10 osób (RMET podzielono na 20 sesji, czterdziestopięciominutowych), do grupy z treningiem placebo (*sham-training*, sh-t) – 4 osoby (RMET składał się z 20 sesji, pięciominutowych), do grupy kontrolnej 6 osób (bez RMET). Wszyscy byli w podobnym wieku, dominowali mężczyźni, mieli prawidłowe parametry spirometryczne i wartości  $VO_{2max}$ . MIP, MEP nie uległy zmianie po obu rodzajach treningu i w grupie kontrolnej. Znamienne po RMET wzrosła MSV. Sportowcy po RMET jako jedyni poprawili wyniki testu wytrzymałościowej typu próby czasu – zadany dystans pokonali w krótszym czasie na rowerze. Poprawa wyników była znamienna statystycznie. W próbach wytrzymałościowych ze stałym obciążeniem oraz typu próby czasu sportowcy poddani RMET uzyskali wzrost  $V_E$  (znamienne statystycznie wzrost  $f_R$ , bez zmian w TV) oraz  $VO_2$ . W teście wytrzymałościowym typu próba czasu korelacja pomiędzy  $V_E$  a czasem wykonania była ujemna i znamienna statystycznie. Wyniki sugerują, że RMET poprawia wytrzymałość sportowców. Efekt ten jest możliwy dzięki poprawie tolerancji wyższych wartości  $V_E$  podczas wysiłku [14].

Verges i wsp. porównali dwie metody treningowe: RMET i trening oporowy mięśni wdechowych (*inspiratory muscle resistive training*, IMT, IMRT) na wytrzymałość mięśni oddechowych u osób zdrowych. Grupę 26 zdrowych osób w sposób losowy podzielono na 3 podgrupy. W jednej prowadzono RMET, w drugiej IMRT, a w trzeciej sh-t. Okres treningowy dla wszystkich grup zaplanowano na 4 tygodnie. W grupie RMET prowadzono 20 sesji treningowych, po 30 minut, rozłożonych na 30 dni (co trzeci dzień bez sesji treningowej).  $V_E$  odpowiadała 60%MMV, TV – 50-60%VC, a  $f_R$  dostosowywano indywidualnie. Druga grupa prowadziła trening 2 razy dziennie, po 15 minut codziennie, przez ten sam czas, z wykorzystaniem urządzenia do IMRT (*an inspiratory resistance-training device*). Badani byli proszeni o wykonanie głębokiego wdechu od poziomu objętości RV do pojemności

RMET had positive influence on the ability to make an effort in patients with COPD [8].

Sherer et al. focused on the difference between the RMT on VIS and RMET in patients with COPD. 30 patients were enrolled in the study. All subjects suffered from chronic obstruction:  $FEV_1 < 70\%$ ,  $FEV_1 / FVC < 70\%$  increase in  $FEV_1$  of less than 15% after administration of a bronchodilator. Dyspnoea, symptoms of heart disease were not found. The subjects were randomly divided into two groups of 15 people, one for RMT with the new mobile SpiroTiger device and the second one with VIS (the control group). Both groups were trained to conduct training sessions twice a day for 15 minutes for five days a week at home. Training cycle was planned for 8 weeks. The following training parameters were set in the test group: the volume of the reservoir bag corresponded to 50–60% TV, and  $V_E = 60\%$  MMV, respiratory rate was increased in the following weeks from 26 / min to 34 / min. In the control group, the respiratory rate was set at 7–8 / min and inspiratory volume corresponded to 70% of VC. Improvement after RMET was significantly higher in the control group in terms of: respiratory muscle endurance assessed in RET and incremental TL; MEP; the distance in 6MWT;  $VO_{2max}$  and quality of life assessed in physical component of SF-12. Changes in the intensity of dyspnea during the day, MIP, endurance measured with exercise test on a treadmill and quality of life assessed in the mental component of SF-12 were not significantly different between two groups. The use of SpiroTiger device at home is possible and RMET has a beneficial effect in this group of patients [11].

An increased oxygen demand during exercise; hypoventilation, decreased strength and endurance of the respiratory muscles, limited ability to make an effort are present in the obese (Ob). The study included 20 patients with Ob (BMI above 30 kg / m<sup>2</sup>), with no associated respiratory disease undergoing monthly diet (70–80% of calories consumed prior to the intervention) and rehabilitation in stationary conditions. Patients were assigned to two groups, the test with RMET and the control one without additional training (10 patients each). RMET was planned in the form of thirty-minute VIHT with the load of 60–80% MVV, 3–4 times a week for the entire period of hospitalization. Comparable decrease in BMI was observed after hospitalization in both groups. The test group with RMET showed significantly greater improvement in VC, respiratory muscle endurance, exercise tolerance assessed by 6MWT, dyspnoea evaluated with MRC scale and quality of life as measured in the SF-36 compared with the control group. In addition, a positive correlation was found between respiratory muscle endurance and exercise tolerance test evaluated with 6MWT [6].

Improved endurance of the respiratory muscles is an important goal of myasthenia gravis (MG) therapy. Despite a correct spirometry result in patients with gen-

TLC w tempie jak najszybciej tylko mogą, przez ustnik z małym otworem. Następnie wyznaczano krzywą przedstawiającą zmiany ciśnienia w czasie i pole pod krzywą (*area under the curve, AuC*). Test powtarzano trzykrotnie. Obciążenie treningowe stanowiło 80% wartości otrzymanych ciśnień w każdym punkcie czasu. Kolejne oddechy badany musiał wykonać tak, aby naśladować przedstawione komputerowo krzywe. Czas wykonywanego wdechu wynosił 20 s, a średnie obciążenie podczas zaprogramowanego wdechu odpowiadało około 65% MIP, potem następowała przerwa 10 s na swobodne oddychanie. Cykl powtarzano, a jedna sesja treningowa trwała 15 minut. Sh-t był wykonywany codziennie przez 30 dni z wykorzystaniem spirometru motywacyjnego (*Volumetric Incentive Spirometer, VIS*). Wybrano następujące obciążenie treningowe: powolny oddech, objętość wdechu 70%VC, oddech powtarzany co 30 s przez 15 minut 2 razy dziennie. Po treningu RMET uzyskano znamieny wzrost  $V_E$ , a po treningu IMRT AuC, a tym samym MIP. Podczas RMET znacznie wzrosła VC, MVV, a podczas IMRT: znacznie wzrosły VC i  $FEV_1$ , podczas gdy PIF znacznie się zmniejszył, a MVV nie uległa zmianie. Podczas sh-t nie uzyskano zmiany VC, MMV,  $FEV_1$ , PIF, zaobserwowano niewielkie, ale znamienne statystycznie zwiększenie PEF. W RET po RMET i IMRT uzyskano wzrost  $T_{lim}$ , nie uzyskano wzrostu tego parametru po sh-t. W RMET uzyskano wzrost MIP, MEP, a po IMRT – MIP. RMET znacząco zmniejsza spadek  $P_{oes, tw}$  podczas hiperwentylacji, co świadczy o mniejszym zmęczeniu mięśni wdechowych. Wzrost wysiłku oddechowego i stężenie mleczanu w trakcie hiperwentylacji były znacznie obniżone tylko po RMET [13].

**Badania nad zastosowaniem treningu RMET u osób przewlekle chorych.** Bernardi i wsp. ocenili u 20 pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (*chronic obstructive pulmonary disease, COPD*) wpływ RMET na występowanie: poczucia duszności, spadków wysycenia tlenem krwi tętniczej, zmęczenia mięśni oddechowych, asynchronicznych ruchów klatki piersiowej i brzucha (*thoraco-abdominal asynchrony, TAA*) podczas wysiłku. Do badań zakwalifikowano pacjentów z wartościami  $FEV_1$  w granicach 30–80%, ze stabilnymi objawami w ostatnich 6 tygodniach. Pacjenci zostali poddani dziesięciominutowym sesjom RMET powtarzanym dwukrotnie w ciągu dnia, przez cztery tygodnie. Obciążenie treningowe odpowiednio wynosiły:  $V_E$  50–60%MVV, objętość worka oddechowego 50–60%VC. Uzyskano znamienne zwiększenie MIP, wydłużenie  $T_{lim}$  w teście marszowym ze stałym obciążeniem 80% $VO_{2max}$ . Podczas wykonywania tego testu stwierdzono poprawę toru oddechowego: wyższe wartości TV, niższe  $f_R$ ,  $V_E$ , ponadto: wyższe wartości  $SpO_2$ , obniżenie PhA (zmniejszenie TAA) oraz obniżenie nasilenia duszności w 10-stopniowej skali Borga.

eralized MG, MVV is often characterized by “myasthenic pattern” – a gradual decrease in tidal volume with the duration of repeated cycles of deep inhalation and exhalation. Ten patients with mild to moderate MG underwent RMET at home. During the first month they performed five 30-minute training sessions a week for 3 subsequent months, 5 similar sessions accounted for two weeks. There were a total of 20 sessions. Training parameters were determined individually and within the limits:  $V_E$ : 50–60% MVV, TV: 50–60% VC,  $f_R$ : 25–35 / min. The lung function in spirometry before the training was correct. Improvement in patients’ condition was reported after training measured with Besinger scale. A slight increase in VC,  $FEV_1$ , PEF, MVV, and MIP was recorded. In RET, a significant growth of  $T_{lim}$  and  $V_{Lim}$  was achieved with an average load of 60% of MVV [16].

The respiratory muscles endurance in healthy subjects assessed during VIHT with  $V_E$  70% MVV corresponds to  $T_{lim}$  10–20 minutes. Mueller et al. was interested in determining the level of  $V_E$  tolerable for 10–20 minutes of VIHT by paraplegic and tetraplegic patients after spinal cord injury (SCI) and use the data to plan RMET. They emphasized that individuals with tetraplegia have properly innervated diaphragm and selected additional inspiratory muscles (sternocleidomastoid, infrahyoid, scalene muscle) innervated by XI cranial nerves or branches of cervical plexus. In the case of people with paraplegia, incorrectly innervated are only the abdominal muscles. Over time, atrophy occurs in denervated muscles. VC,  $FEV_1$ ,  $FIV_1$ , PEF, MVV, MIP, MEP, VE parameters were significantly higher in individuals with paraplegia than tetraplegia.  $T_{lim}$  in RET with MVV 20% or 40% MVV was similar in both groups, and with a load of 60% MVV was significantly longer for paraplegics (averaged over 10 minutes) as compared to tetraplegics. The level of dyspnea sensation was similar in both groups. LA level in serum decreased significantly compared to resting for the duration of RET test MVV 20% and 40% MVV and remained unchanged during RET test 60% MVV in patients with paraplegia. Tetraplegic patients showed significant decrease of LA levels in blood compared to resting value during RET MVV 20% while at 40% and 60% MVV it did not change. Based on research it was found that  $V_E$  well tolerated for 10–20 minutes by tetraplegic patients amounted to 40% MVV and for paraplegic patients 60% MVV. These values should be applied during RMET in patients after SCI [15].

Houtte et al. was interested in the influence of RMET on the respiratory muscles endurance in patients after SCI. 14 patients from 6 weeks to 6 months after SCI at the level of C4–Th11 were randomly assigned to two groups – the control with sh-t (slow and deep breathing,  $V_E$ : 15% MVV,  $f_R$ : 15–25 / min, constant load) and the test one with RMET (fast and deep breathing,  $V_E$ : 30%–45% MVV,  $f_R$ :

Ponadto zaobserwowano wydłużenie dystansu w teście 6MWT, poprawę jakości życia mierzonej testem SGRQ. Znaleziono znamienne dodatnią korelację pomiędzy TV i  $SpO_2$ . RMET korzystnie wpłynął na zdolność do podejmowania wysiłku w grupie chorych na COPD [8].

Sherer i wsp. zainteresowali się różnicą pomiędzy RMT na spirometrze motywacyjnym (VIS), a RMET w grupie chorych z COPD. Do badania zakwalifikowano 30 pacjentów. Wszyscy cierpieli na przewlekłą obturację:  $FEV_1 < 70\%$ ,  $FEV_1/FVC < 70\%$ , wzrost  $FEV_1$  o mniej niż 15% po podaniu leku rozszerzającego oskrzela. Nie wykazywali duszności spoczynkowej, objawów choroby serca. W sposób losowy wyodrębniono dwie grupy po 15 osób, jedną do RMT z nowym urządzeniem przenośnym SpiroTiger i drugą z VIS (grupa kontrolna). Obie grupy wyszkolono do prowadzenia sesji treningowych dwa razy dziennie przez 15 minut przez 5 dni w tygodniu w warunkach domowych. Cykl treningowy rozplanowano na 8 tygodni. W grupie eksperymentalnej ustalono następujące parametry treningowe: objętość worka oddechowego odpowiadała 50–60%TV, a  $V_E$  – 60%MMV, częstość oddechów zwiększano w kolejnych tygodniach od 26/min do 34/min. W grupie kontrolnej częstość oddechów ustalono na poziomie 7–8/min, a objętość wdechu odpowiadała 70%VC. Poprawa po RMET była znamienne większa niż w grupie kontrolnej w zakresie: wytrzymałości mięśni oddechowych ocenianej w RET i incremental TL; MEP; dystansu w 6MWT;  $VO_{2max}$  oraz jakości życia ocenianej w physical component SF-12. Zmiany w nasileniu duszności w ciągu dnia, MIP, wytrzymałości mierzonej w próbie wysiłkowej na bieżni oraz jakość życia ocenianej w mental component SF-12 nie różniły się istotnie pomiędzy obu grupami. Stosowanie urządzenia SpiroTiger w warunkach domowych jest możliwe, a RMET ma korzystny wpływ w tej grupie chorych [11].

U osób otyłych (*obesity*, Ob) występuje zwiększone zapotrzebowanie na tlen podczas wysiłku, hipowentylacja, obniżona siła i wytrzymałość mięśni oddechowych, ograniczona zdolność do podejmowania wysiłku. W badaniu uwzględniono 20 osób z Ob (BMI powyżej 30 kg/m<sup>2</sup>), bez towarzyszących chorób układu oddechowego, poddanych miesięcznemu leczeniu dietetycznemu (70–80% wartości kalorycznej diety podstawowej spożywanej przed interwencją) oraz rehabilitacji w warunkach stacjonarnych. Pacjenci zostali przydzieleni do dwóch grup, eksperymentalnej z RMET i kontrolnej pozbawionej dodatkowego treningu (po 10 pacjentów). RMET zaplanowano w postaci trzydziestominutowej VIHT, z obciążeniem 60–80% MVV, 3–4 razy w tygodniu przez cały okres hospitalizacji. Porównywalne zmniejszenie BMI zaobserwowano po hospitalizacji w obu grupach. W grupie eksperymentalnej z RMET, w porównaniu do kontrolnej stwierdzono znacząco większą poprawę VC, wytrzymałości mięśni oddechowych, tolerancji wysiłku ocenianej na podstawie 6MWT, zmniejszenie duszności

35-40 / min, increasing load). RMET was performed for 30 minutes, 4 days a week. The sessions were planned for 8 weeks. The improvement was noticeable already after the fourth week of RMET. FVC, MVV, MIP, MEP,  $T_{lim}$  improved significantly in RET after completion of training. The number of pulmonary complications decreased during the period of 4 weeks from the start to eight weeks after the training. MVV remained in mutual positive correlation with MIP, MEP, FVC and  $T_{lim}$  after a 4-week training and FVC,  $T_{lim}$  after 8-week training. The sensation of the symptoms resulting from dysfunction of the respiratory system measured with Pulmonary Index Dysfunction diminished. No such effects were obtained after sh-t [12].

Fischer et al. studied the impact of RMET on the lung function, respiratory muscle endurance and exercise tolerance in hand bike professionals with high SCI. Apart from basic training additional RMET – 20 thirty-minute VIHT sessions over four weeks were applied in seven out of twelve athletes. The basic training was continued with the rest of the sportsmen who they constituted the control group. Pulmonary function tests did not differ between the two groups: the test and control group before and after training. The respiratory muscle endurance increased significantly after RMET. An increase in  $V_E$  was achieved.  $VO_{2max}$ ,  $T_{lim}$  values in hand bike endurance test with increasing load did not differ between the groups and did not change after RMET. Short-term RMET intervention in this group of athletes improved the respiratory muscles endurance, but had little impact on the overall exercise tolerance [23].

Change in the lung function after RMET in a group of chronically ill children was also studied. Twenty-four children over 9 years of age were enrolled in the study. The inclusion criteria included cystic fibrosis (CF) confirmed by genetic testing, complete medical records from last two years, systematic screening, at least one episode of exacerbation in the last six months resulting in  $FEV_1$  decrease by 10%, requiring administration of antibiotic by inhalation, orally or intravenously, without hemoptysis, dyspnoea, pulmonary heart disease. It was proposed to change the applied chest physiotherapy to RMET. After accepting the changes, they were educated how to perform a new training at home. Therapy sessions lasted 14 minutes, at least 4 times a week, and the parameters were determined for each patient individually. The output volume of training bag was set at 50% of FVC,  $f_R$  was gradually increased from 24 / min to 30 / min, the training time was gradually increased to 14 minutes per session. Training was carried out at home. Inspections were held every three months within one year of the intervention, the first was conducted three months after the intervention. The data from the year before and after the intervention were analyzed. Significant statistical improvement was observed in:

ocenianej w skali MRC i poprawę jakości życia mierzonej w skali SF-36. Dodatkowo stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy wytrzymałością mięśni oddechowych a tolerancją wysiłku ocenianą testem 6MWT [6].

Poprawa wytrzymałości mięśni oddechowych jest ważnym celem terapii w miastonii gravis (*myasthenia gravis*, MG). Pomimo prawidłowego wyniku badania spirometrycznego, u pacjentów z postacią uogólnioną MG często MVV charakteryzuje się „miastenicznym wzorcem” – stopniowym zmniejszaniem się objętości oddechowej w miarę czasu trwania powtarzających się cykli głębokiego wdechu i wydechu. Dziesięciu pacjentów z MG, z postacią łagodną do umiarkowanej poddano RMET w warunkach domowych. W pierwszym miesiącu odbywali oni 5 sesji treningowych trzydziestominutowych w tygodniu, a przez kolejne 3 miesiące, 5 podobnych sesji przypadało na dwa tygodnie. W sumie 20 sesji. Parametry treningowe były ustalone indywidualnie i mieściły się w granicach:  $V_E$ : 50-60% MVV, TV: 50-60%VC,  $f_R$ : 25-35/min. Funkcja płuc w badaniu spirometrycznym przed treningiem była prawidłowa. Po treningu odnotowano poprawę stanu chorych mierzoną w skali Besingera, odnotowano nieznaczny wzrost: VC,  $FEV_1$ , PEF, MVV, a także MIP. W RET, przy średnim obciążeniu 60% MVV uzyskano znamienny wzrost  $T_{lim}$  i  $V_{lim}$  [16].

Wytrzymałości mięśni oddechowych osób zdrowych ocenionej podczas VIHT z  $V_E$  70%MVV odpowiada  $T_{lim}$  10–20 minut. Mueller i wsp. zainteresowani byli określeniem poziomu  $V_E$  tolerowanego przez 10–20 minut podczas VIHT przez osoby z paraplegią i tetraplegią, po urazie rdzenia kręgowego (*spinal cord injury*, SCI) i wykorzystaniem danych do zaplanowania RMET. Zwrócili oni uwagę, że u osób z tetraplegią prawidłowo unerwiona pozostaje przepona oraz wybrane mięśnie dodatkowe wdechowe (mostkowo-obończykowo-sutkowy, podgnykowe, pochyłe szyi) unerwione przez XI nerw czaszkowy, czy gałęzie spłotu szyjnego. W przypadku osób z paraplegią nieprawidłowo unerwione są jedynie mięśnie brzucha. Z upływem czasu mięśnie odnerwione ulegają atrofii. Parametry VC,  $FEV_1$ ,  $FIV_1$ , PEF, MVV, MIP, MEP,  $V_E$  były znamienne wyższe u osób z paraplegią niż tetraplegią.  $T_{lim}$  w RET z 20%MVV, czy 40%MVV był jednakowy w obu grupach, a z obciążeniem 60%MVV znamienne dłuższy dla paraplegików (wynosił średnio powyżej 10 minut) w porównaniu do tetraplegików. Poziom odczuwania duszności był podobny w obu grupach. U pacjentów z paraplegią stężenie LA w surowicy krwi znacząco obniżyło się w porównaniu do spoczynkowego przez cały czas trwania testu RET 20%MVV i 40%MVV i pozostało niezmienione podczas testu RET 60%MVV. U pacjentów z tetraplegią stężenie LA we krwi znacząco obniżyło się w stosunku do wartości w okresie spoczynku tylko podczas RET 20%MVV, a przy 40% i 60%MVV, nie zmieniło się. Na podstawie prowadzonych badań ustalono, że  $V_E$  dobrze tolerowane przez 10–20 minut dla pacjentów z tetraplegią wynosi 40%MVV, a dla

FEV<sub>1</sub> and perception of physical condition assessed with a questionnaire and reduction in the number of episodes of exacerbations requiring IV treatment with antibiotics [10].

Lee et al. analyzed the impact of training based on classical methods and those enriched with RMET on spirometric parameters in children with cerebral palsy (CP). The study involved 22 children with the ability to walk, perform commands, not burdened with respiratory diseases or deformities of the axial skeleton. The children were randomly assigned to two groups of eleven. Experimental rehabilitation consisted of 15-minute RMET followed by a 10-minute break and 30 minutes of conventional training. Rehabilitation in the control group consisted of 30 minutes of conventional training. Training took place three times a week for four weeks. Statistically significant improvement in the lung function after the experimental rehabilitation: FVC increased by 50%, and FEV<sub>1</sub> increased by 40%. The control group did not obtain such results. RMET contributed to the improvement in the lung function of CP children [4].

## Summary

The collected data on methods for monitoring and documenting of changes in the lung and respiratory muscle function and changes in endurance under the influence of RMET provide a good example of research in accordance with evidence-based medicine (EBM) [1–24].

RMET in all analyzed studies conducted in groups of athletes, healthy individuals [5, 7, 9, 13, 14] and adults with chronic diseases [6, 8, 11, 16, 19, 23] allows to adapt to hyperventilation and increase the respiratory muscles endurance. Changes in the lung and respiratory muscle function, increase in respiratory muscle strength after RMET are not so explicit [5–9, 11, 13, 14, 16, 19, 23]. Among the different types of RMT - RMET allows athletes and healthy subjects, and patients with Ob [6], COPD [8,11] to increase the endurance measured in tests using dynamic exercises and work of large muscle groups of limbs with fixed, submaximal load, not exceeding 80% VO<sub>2max</sub> [7, 8, 14], with increasing load to 100% VO<sub>2max</sub> [9, 12, 14], in time test [5, 14] or distance test [6, 8, 11]. RMET is likely to delay the metabotropic reaction. However, the fact that no improvement in exertion tolerance was observed in patients with SCI and large muscle groups of limbs paresis should be pointed out [23].

The effect of RMET on the lung function in chronically ill children was analysed. Improvement was found: FEV<sub>1</sub> in patients with CF [10] and FVC and FEV<sub>1</sub> in CP [4].

In the literature of the subject one may find examples of other RTM variations, different than RMET, and their application: in children [25] and adults [26–38], in healthy persons [26–28] and patients suffering because of such diseases as: Pompe disease [25], cerebral stroke [29–30],

pacjentów z paraplegią 60% MVV. Wartości te powinny być stosowane w RMET, w grupie chorych po SCI [15].

Houtte i wsp. byli zainteresowani wpływem RMET na wytrzymałość mięśni oddechowych u osób po SCI. 14 pacjentów w okresie od 6 tygodni do 6 miesięcy po SCI na poziomie C4-Th11, zostało w sposób losowy przyporządkowanych do dwóch grup – jednej kontrolnej z sh-t (wolny i głęboki oddech, V<sub>E</sub>: 15% MVV, f<sub>R</sub>: 15–25/min, stałe obciążenie) i drugiej z RMET (szybki i głęboki oddech, V<sub>E</sub>: 30–45% MVV, f<sub>R</sub>: 35–40/min, rosnące obciążenie). RMET realizowano przez 30 minut, przez 4 dni w tygodniu. Sesje rozplanowano na 8 tygodni. Poprawa była już zauważalna po czwartym tygodniu RMET. Po zakończeniu treningu FVC, MVV, MIP, MEP, T<sub>Lim</sub> w teście RET uległy znaczniejszej poprawie. Zmniejszyła się liczba powikłań płucnych w okresie po 4 tygodniach od rozpoczęcia treningu do ośmiu tygodni po zakończeniu treningu. MVV pozostawało we wzajemnej dodatniej korelacji z MIP, MEP, FVC i T<sub>Lim</sub> po 4-tygodniowym treningu, a po 8-tygodniowym z FVC, T<sub>Lim</sub>. Zmniejszyło się poczucie objawów wynikających z dysfunkcji układu oddechowego mierzonych w skali *the Index of Pulmonary Dysfunction*. Efektów takich nie uzyskano po sh-t [12].

Fischer i wsp. zbadali wpływ RMET na czynność płuc, wytrzymałość mięśni oddechowych i tolerancję wysiłku u sportowców wyczynowych w konkurencji rower ręczny (handbike), z wysokim SCI. U siedmiu z dwunastu sportowców zastosowano obok treningu podstawowego dodatkowo RMET – 20 trzydziestominutowych sesji VIHT rozłożonych w ciągu 4 tygodni. U pozostałych sportowców kontynuowano wyłącznie trening podstawowy – stanowili oni grupę kontrolną. Badania czynnościowe płuc nie różniły się pomiędzy grupami: eksperymentalną i kontrolną, przed i po treningu. Po RMET wytrzymałość mięśni oddechowych znacznie wzrosła. Uzyskano wzrost V<sub>E</sub>. Wartości: VO<sub>2max</sub>, T<sub>Lim</sub> w teście wydolnościowym na rowerze ręcznym, ze wzrastającymi obciążeniami nie różniły się między grupami i nie zmieniły się po RMET. Krótkoterminowa interwencja RMET w tej grupie sportowców poprawiła wytrzymałość mięśni oddechowych, ale miała niewielki wpływ na ogólną tolerancję wysiłku [23].

Badano również zmianę czynności płuc po RMET w grupie dzieci przewlekle chorych. Dwadzieścioro czworo dzieci w wieku powyżej 9 roku życia, z potwierdzoną badaniem genetycznym mukowiscydzą (cystic fibrosis, CF), z kompletną dokumentacją medyczną z ostatnich dwóch lat, z wykonywanymi systematycznie badaniami kontrolnymi, z co najmniej jednym epizodem zaostrzenia w ostatnim półroczu, powodującego spadek FEV<sub>1</sub> o 10%, wymagającego podania antybiotyku na drodze wziewnej, doustnej lub dożylniej, bez krwotocia, duszności spoczynkowej, serca płucnego. Zaproponowano zmianę stosowanej dotychczasowo fizjoterapii klatki piersiowej na RMET. Po akceptacji zmiany prowa-

Parkinson disease [31], progressing neuromuscular diseases [32, 33], complications in course of sickle-celled anemia [34], bronchial asthma [35], in patients during preparation for operative treatment [36], mechanical ventilation [37], and dialysis [38]. In all cases, the application of RMT brings about a measurable advantages [39, 40].

## Conclusions

Monitoring and documenting of changes in the lung function and respiratory muscle endurance under the influence of RMET can be conducted in a manner consistent with EBM. Improved respiratory muscle endurance and ability to perform the effort was observed in athletes, healthy adults and chronically ill patients under the influence of RMET. An increase of hyperventilation tolerance and respiratory muscle endurance was found after RMET, as compared to other types of RMT.

dzono szkolenie dotyczące nowego treningu w warunkach domowych. Sesje terapeutyczne trwały 14 minut, co najmniej 4 razy w tygodniu, a parametry były ustalone dla każdego pacjenta indywidualnie. Wyjściową objętość worka treningowego ustalono na 50%FVC,  $f_R$  stopniowo zwiększano od 24/min do 30/min, czas treningu stopniowo wydłużano do 14 minut na jedną sesję. Trening prowadzono w warunkach domowych. Kontrole odbywały się co trzy miesiące w przeciągu roku od interwencji, pierwsza przypadła trzy miesiące po interwencji. Dokonano analizy danych w okresie roku przed oraz po interwencji. Po domowym treningu RMET stwierdzono znamienne statystyczną poprawę:  $FEV_1$  i postrzeganie kondycji fizycznej ocenianej kwestionariuszem oraz zmniejszenie liczby epizodów zaostrzeń wymagających leczenia antybiotykami dożylnymi [10].

Lee i wsp. przeanalizowali wpływ treningu opartego na metodach klasycznych oraz wzbogaconego o RMET na parametry spirometryczne u dzieci z mózgowym porażeniem dziecięcym (*cerebral palsy*, CP). W badaniu brało udział 22 dzieci posiadających zdolność chodzenia, spełniających polecenia, nieobciążonych chorobami układu oddechowego, deformacjami szkieletu osiowego. Dzieci były losowo przydzielone do dwóch grup po jedenaścioro. Usprawnianie eksperymentalne polegało na 15-minutowym RMET, następnie 10-minutowej przerwie i 30-minutowym treningu konwencjonalnym. Usprawnianie w grupie kontrolnej polegało na 30-minutowym treningu konwencjonalnym. Trening odbywał się trzy razy w tygodniu przez cztery tygodnie. Zaobserwowano istotną statystycznie poprawę czynności płuc po usprawnianiu eksperymentalnym: wartość FVC wzrosła o 50%, a  $FEV_1$  zwiększyła się o 40%. Grupa kontrolna nie uzyskała takich wyników. RMET wpłynęła na poprawę czynności płuc dzieci z CP [4].

## Podsumowanie

Zgromadzone dane na temat sposobów monitorowania i dokumentowania zmian w czynności płuc i mięśni oddechowych oraz zmian w wytrzymałości pod wpływem RMET są dobrym przykładem prowadzenia badań zgodnie z medycyną opartą na faktach (*evidence based medicine*, EBM) [1–24].

RMET we wszystkich przeanalizowanych badaniach prowadzonych w grupach sportowców i osób zdrowych [5, 7, 9, 13, 14] oraz osób dorosłych przewlekłe chorych [6, 8, 11, 16, 19, 23] umożliwia adaptację do hiperwentylacji i zwiększa wytrzymałość mięśni oddechowych. Zmiany czynności płuc i mięśni oddechowych, wzrost siły mięśni oddechowych po RMET nie są tak jednoznaczne [5–9, 11, 13, 14, 16, 19, 23]. Spośród różnych rodzajów RMT – RMET umożliwia u sportowców i osób zdrowych oraz u chorych na Ob [6], COPD [8, 11] zwiększenie wytrzymałości, mierzonej w testach wykorzystujących ćwiczenia dynamiczne i pracę dużych grup mięśniowych kończyn: ze stałym, submaksymalnym obciążeniem, nie-

przekraczającym poziom 80% $\text{VO}_{2\text{max}}$  [7, 8, 14], ze wzrastającym obciążeniem do 100% $\text{VO}_{2\text{max}}$  [9, 12, 14], w teście typu próba czasu [5, 14], w teście typu próba dystansu [6, 8, 11]. Jest prawdopodobne, że RMET opóźnia reakcję metabotropową. Zwraca uwagę fakt, że u pacjentów po SCI, z porażeniem dużych grup mięśniowych kończyn nie uzyskano poprawy tolerancji wysiłku [23].

U dzieci przewlekle chorych badano wpływ RMET na czynność płuc. Uzyskano poprawę:  $\text{FEV}_1$  u chorych na CF [10], a FVC i  $\text{FEV}_1$  na CP [4].

W literaturze przedmiotu można znaleźć przykłady innych niż RMET odmian RMT i ich zastosowania: u dzieci [25] i dorosłych [26–38], u osób zdrowych [26–28] i chorych cierpiących na inne niż wyżej wymienione choroby: chorobę Pompego [25], udar mózgu [29–30], chorobę Parkinsona [31], postępujące choroby nerwowo-mięśniowe [32, 33], powikłania płucne w przebiegu anemii sierpowatokrwinkowej [34], astmę oskrzelową [35], przygotowywanych do leczenia operacyjnego [36], wentylowanych mechanicznie [37] oraz dializowanych [38]. Zastosowanie RMT w każdym przypadku przynosi wymierne korzyści [39, 40].

## Wnioski

Monitorowanie i dokumentowanie zmian czynności płuc i mięśni oddechowych oraz wytrzymałości pod wpływem RMET można prowadzić w sposób zgodny z EBM. Pod wpływem RMET u sportowców i osób dorosłych, zdrowych oraz przewlekle chorych następuje poprawa wytrzymałości mięśni oddechowych i zdolności do wykonywania wysiłku. Po RMET, w porównaniu do innych rodzajów RMT, uzyskano zwiększenie tolerancji hiperventylacji i wytrzymałości mięśni oddechowych.

## Bibliography / Bibliografia

1. Leith [HYPERLINK “http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Leith%20DE%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor\\_uid=985393”](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Leith%20DE%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=985393) DE, Bradley M. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J* [HYPERLINK “http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/985393”](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/985393) [HYPERLINK “http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/985393”](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/985393) *Physiol* 1976;4:508-516.
2. Boutellier U, Biichel R, Kundert A, et. al. The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *Eur J Appl Physiol* 1992;65:347-353.
3. Boutellier U, Piwko P. The respiratory system as an exercise limiting factor in normal sedentary subjects. *Eur J Appl Physiol* 1992;64:145-152.
4. Lee HY, Cha YJ, Kim K. The effect of feedback respiratory training on pulmonary function of children with cerebral palsy: a randomized controlled preliminary report. *Clin Rehabil* 2014;10:965–971.
5. Lemaitre F, Coquart JB, Chavallard F, et. al. Effect of Additional Respiratory Muscle Endurance Training in Young Well-Trained Swimmers. *JSSM* 2013;12:630-638.
6. Villiot-Danger JC, Villiot-Danger E, Borel JC, et al. Respiratory muscle endurance training in obese patients. *Int J Obesity* 2011; 35: 692–699.
7. Uemura H, Lundgren CEG, Ray AD, et. al. Effects of Different Types of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Runners. *Mil Med* 2012;177:559-565.
8. Bernardi E, Pomidori L, Bassal F, et. al. Respiratory muscle training with normocapnic hyperpnea improves ventilatory pattern and thoracoabdominal coordination, and reduces oxygen desaturation during endurance exercise testing in COPD patients. *Int J Chronic Obstr* 2015;10:1899–1906.
9. Bernardi E, Melloni E, Mandolesi G, et. al. Respiratory Muscle Endurance Training Improves Breathing Pattern in Triathletes. *Ann Sports Med Res* 2014;1:1003.
10. Sartori R., Barbi E, Poli F, et al. Respiratory training with a specific device in cystic fibrosis: A prospective study. *J Cyst Fibros* 2008;7:313–319.
11. Scherer TA, Spengler CM, Owassapian D, et. al. Respiratory Muscle Endurance Training in Chronic Obstructive Pulmo-

- nary Disease Impact on Exercise Capacity, Dyspnea, and Quality of Life. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:1709–1714.
12. Houtte SV, Vanlandewijck Y, Kiekens C, et. al. Patients with acute spinal cord injury benefit from normocapnic hyperpnoea training. *J Rehabil Med* 2008;40:119–125.
  13. Verges S, Renggli AS, Notter DA, et. al. Effects of different respiratory muscle training regimes on fatigue-related variables during volitional hyperpnoea. *Respir Physiol Neurobiol* 2009, doi:10.1016/j.resp.2009.09.005.
  14. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol* 2004;4:9.
  15. Mueller G, Perret C, Spengler CM. Optimal intensity for respiratory muscle endurance training in patients with spinal cord injury. *J Rehabil Med* 2006;38:381–386.
  16. Rassler B, Marx G, Hallebach S, et. al. Long-Term Respiratory Muscle Endurance Training in Patients with Myasthenia Gravis: First Results after Four Months of Training. *Autoimmune Diseases* 2011;ID 808607.
  17. Klusiewicz A. Trening mięśni oddechowych a zdolność wysiłkowa zawodników. *SW* 2007;7-9:511–513.
  18. Tobin MJ, Perez W, Guenther SM, Lodato RF, Dantzker DR. Does rib cage-abdominal paradox signify respiratory muscle fatigue? *J Appl Physiol* 1987;63:851–860.
  19. Walker DJ, Ertl T, Walterspacher S, et. al. Respiratory muscle function during a six-week period of normocapnic hyperpnoea training. *RespirHYPERLINK* “<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23689008>” *HYPERLINK* “<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23689008>” *PhysiolHYPERLINK* „<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23689008>” *HYPERLINK* „<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23689008>” *Neurobiol* 2013;188:208–213.
  20. Ludwig N, Gargano M, Formenti D, et. al. Breathing training characterization by thermal imaging: a case study. *Acta Bioeng and Biomech* 2012; 3:41–47.
  21. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, et. al. Reference values for lung function tests II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res* 1999;6:719–727.
  22. Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *J Appl Physiol* 2008;3: 879–888.
  23. Fischer G, Tarperi C, George K, et. al. An exploratory study of respiratory muscle endurance training in high lesion level paraplegic handbike athletes. *ClinHYPERLINK* “<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24326928>” *J Sport Med* 2014;1:69–75.
  24. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, et. al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol* 1998;85:609–18.
  25. Jones HN, Crisp KD, Moss T, et. al. Effects of respiratory muscle training (RMT) in children with infantile-onset Pompe disease and respiratory muscle weakness. *J Ped Rehabil Med* 2014;7:255–265.
  26. Edwards AM. Respiratory muscle training extends exercise tolerance without concomitant change to peak oxygen uptake: Physiological, performance and perceptual responses derived from the same incremental exercise test. *Respirology* 2013;18:1022–1027.
  27. Hackett DA, Johnson NA, Chow C-M. High-volume resistance training session acutely diminishes respiratory muscle strength. *J Sports Sci & Med* 2012;11:26–30.
  28. Nagarajan S. Effect of slow breathing training on BP and HRV. *NJPPP* 2014;3:245–248.
  29. Kulnik ST, Rafferty GF, Birring SS, et al. A pilot study of respiratory muscle training to improve cough effectiveness and reduce the incidence of pneumonia in acute stroke: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2014;15:123.
  30. Sutbeyaz ST, Koseoglu F, Inan L. Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2010; 24: 240–250.
  31. Saleem AF, Sapienza CM, Okun MS. Respiratory muscle strength training: Treatment and response duration in a patient with early idiopathic Parkinson’s disease. *NeuroRehabilitation* 2005;05:323–333.
  32. Aslan GK, Gurses HN, Issever H, et. al. Effects of respiratory muscle training on pulmonary functions in patients with slowly progressive neuromuscular disease: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2014;28:573–581.
  33. Yeldan I, Gurses HN, Yuksel H. Comparison study of chest physiotherapy home training programmes on respiratory functions in patients with muscular dystrophy. *Clin Rehabil* 2008;22:741–748.
  34. Camcioglu B, Bosnak-Güçlü M, Karadalli MN, et. al. The Role of Inspiratory Muscle Training in Sick Cell Anemia Related Pulmonary Damage due to Recurrent Acute Chest Syndrome Attacks. *Case Rep Hematol* 2015;ID 780159:1–6.
  35. Renolleau-Courtois D, Lamouroux-Delay A, Delpierre S. Home-based respiratory rehabilitation in adult patients with moderate or severe persistent asthma. *J Asthma* 2014; 5:552–558.
  36. Mans CM, Reeve JC, Elkins MR. Postoperative outcomes following preoperative inspiratory muscle training in patients undergoing cardiothoracic or upper abdominal surgery: a systematic review and meta analysis. *Clin Rehabil* 2015;29:426–438.
  37. Bissett B, Leditschket IA, Paratz JD, Boots RJ. Respiratory dysfunction in ventilated patients: can inspiratory muscle training help? *Anaesth Intens Care* 2012;40: 236–246.
  38. Pellizzaro CO, Thomé FS, Veronese FV. Effect of Peripheral and Respiratory Muscle Training on the Functional Capacity of Hemodialysis Patients. *Renal Failure* 2013;2:189–197.
  39. Tamplin J, Berlowitz DJ. A systematic review and meta-analysis of the effects of respiratory muscle training on pulmonary function in tetraplegia. *Spinal Cord* 2014; 52:175–180.
  40. Pollock RD, Rafferty GF, Moxham J, et. al. Respiratory muscle strength and training in stroke and neurology: a systematic review. *Int J Stroke* 2013;8:124–130.