

Jakkolwiek szereg kwestii pozostaje otwartych i wymaga dalszych badań, to zainteresowanie praktyki sportu treningiem mięśni oddechowych staje się coraz większe.

Andrzej Klusiewicz

Trening mięśni oddechowych a zdolność wysiłkowa zawodników

Praca przeglądowa, ukazująca w szerokim świetle badań eksperymentalnych wpływ tzw. treningu mięśni oddechowych (TMO) na układ oddechowy oraz funkcje ustroju u osób nie trenujących i zawodników. Autor przedstawia sposoby, zasady i urządzenia, jakich używa się do TMO. Omawia też rodzaje tego treningu – o ukierunkowaniu na rozwój dyspozycji siłowych lub wytrzymałościowych mięśni oddechowych. Wskazuje na szereg kwestii pozostających do wyjaśnienia, ale jednocześnie jest przekonany, że wzrastające zainteresowanie zagadnieniami TMO pozwoli w krótkim czasie wyjaśnić szereg niewyjaśnionych aktualnie zagadnień i jeszcze silniej zachęci praktykę sportu do jego stosowania. Niewątpliwie korzyści niesie zastosowanie TMO w sytuacji, kiedy z konieczności zawodnik musi przerwać normalny trening z powodu urazu, a także TMO w charakterze rozgrzewki przedstartowej.

SŁOWA KLUCZOWE: mięśnie oddechowe – siła i wytrzymałość – zmęczenie – trening – zmiany zdolności wysiłkowej.

Z Zakładu Fizjologii Instytutu Sportu w Warszawie.

Wprowadzenie

W tradycyjnym ujęciu przedstawia się układ oddechowy jako posiadający adekwatne możliwości, aby sprostać wentylacyjnym wymogom stawianym przez wysiłek sportowy. Jednak wyniki prac opublikowanych w ostatnich kilkunastu latach wykazały, że mięśnie oddechowe, podobnie jak i inne mięśnie szkieletowe, ulegają w czasie wysiłku zmęczeniu, co musi ograniczać zdolność wykonania wysiłku (5, 23, 27, 29, 40, 52). Stąd wniosek, że tradycyjny trening, nawet u zawodników o wysokim poziomie sportowym, powinien zostać uzupełniony **treningiem mięśni oddechowych (TMO)**. Mógłby on być traktowany jako jeszcze jedna, specyficzna metoda wykorzystywana do poprawy zdolności wysiłkowej zawodników. Sposób prowadzenia treningu mięśni oddechowych (za pomocą specjalnych urządzeń nowej generacji) może uchodzić również za wolny od środków farmakologicznych środek wspomagający. Celem opracowania jest przedstawienie zasadniczych aspektów związanych z fizjologicznymi podstawami treningu mięśni oddechowych oraz jego wpływu na zdolność do wysiłku.

Budowa i czynność mięśni oddechowych

Podstawową rolę mięśni oddechowych, morfologicznie i funkcjonalnie podobnych do mięśni lokomocyjnych, jest wykonywaniu pracy niezbędnej do utrzymania funkcji oddychania, niezbędnej do życia ustroju. Jako jedyne z mię-

śni prążkowanych podlegają zarówno świadomej jak i automatycznej kontroli układu nerwowego. Najważniejszym mięśniem oddechowym u człowieka jest **przepona**, zbudowana w 55% z włókien wolno kurczących się oksydacyjnych (typ I), w 21% z szybko kurczących się oksydacyjno-glikolitycznych (typ IIa) oraz w 24% z szybko kurczących się glikolitycznych (typ IIb) (25). Przepona jest dwukrotnie lepiej ukrwiona aniżeli inne mięśnie poprzecznie prążkowane, zawiera też znacznie wyższy zasób dehydrogenazy bursztynianowej, co upodabnia ją do mięśnia sercowego. Przepona nie gromadzi glikogenu, jej potrzeby energetyczne zaspokajają substraty dostarczane przez krew: wolne kwasy tłuszczowe, glukoza, ciała ketonowe, mleczany i tlen (25).

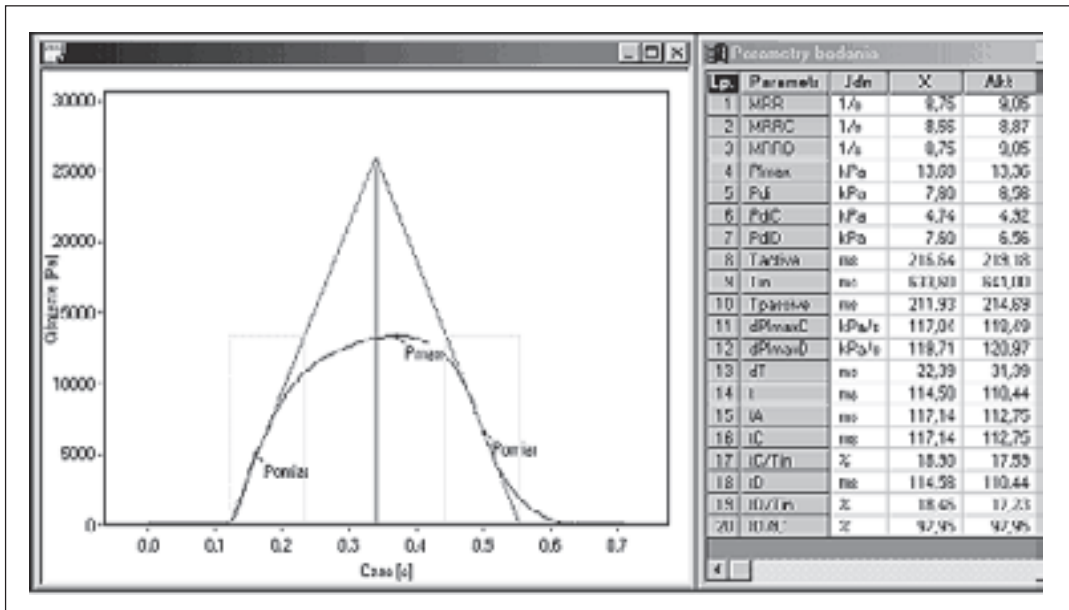
Podczas spokojnego oddychania przepona jest głównym czynnym mięśniem. Jednakże mięśnie międzyżebrowe są ważnymi mięśniami agonistycznymi, odgrywając istotną rolę w spoczynku, np. utrzymując odpowiednią „konfigurację” klatki piersiowej. **Mięśnie przymostkowe i mięśnie pochyłe szyi** również uczestniczą aktywnie w swobodnym oddychaniu (25). W czasie wysiłku, gdy konieczne jest zwiększenie wentylacji płuc, niezbędne staje się włączenie pozostałych mięśni oddechowych, przede wszystkim **mięśni międzyżebrowych zewnętrznych, mięśni sutkowo-mostkowo-obojęzkowych i pochyłych** (12). W przeciwieństwie do wdechu, wydech jest – w prawidłowych warunkach – aktem biernym. Odbywa się kosztem energii, nagromadzonej w czasie wdechu,

uwalnianej ze struktur sprężystych płuc i ściany klatki piersiowej. Jednak w czasie nasilonej wentylacji wydech musi być czynny i wymaga udziału mięśni wydechowych. Są nimi mięśnie **międzyżebrowe wewnętrzne i mięśnie tłożni brzusznej z przeponą** (12).

Pomiary siły i wytrzymałości mięśni oddechowych

Zdolności wysiłkowe mięśni oddechowych określają – **siła i wytrzymałość**. Do oceny siły mięśni oddechowych stosowane są pomiary **maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax})**, wykonywane przy pomocy prostych aparatów mechanicznych lub aparatury elektronicznej. Pomiar ciśnienia w jamie ustnej w czasie wdechu przedstawiono na rysunku 1.

Parametr ten wyraża zdolność generowania siły przez mięśnie wdechowe w czasie krótkotrwałego, prawie statycznego, skurczu, przy niemal całkowitym zamknięciu przepływu powietrza przez drogi oddechowe. Postępując według procedury opisanej przez wielu autorów (15, 39, 53) zwykle wykonuje się minimalnie – 10, a maksymalnie – 15 wdechów oraz 3 najwyższe pomiary z 5% zmiennością określa się jako maksimum. Początkowe położenie mięśni wdechowych jest kontrolowane przez rozpoczęcie każdego wysiłku od objętości zalegającej (RV). W czasie pomiarów, wykonywanych w pozycji siedzącej lub stojącej, badani dopingowani są słownie do maksymalnego wysiłku. Zaprezentowany sposób pomiaru cechuje wysoka powtarzalność.



Ryc. 1. Zapis pomiaru maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{Imax}) zarejestrowany za pomocą zestawu pomiarowego Lungtest 1000 (MES, Kraków, Polska).

Publikowane wartości referencyjne P_Imax charakteryzuje duża zmienność, zależna między innymi od badanej populacji, metod i technik pomiarowych czy motywacji badanych (tabela 1). Z tego względu dokonywanie porównań wyników pomiarów podawanych przez różnych autorów jest utrudnione. Dlatego zaleca się, żeby każde laboratorium opracowało własne wartości referencyjne (15).

Jakkolwiek pomiary siły mięśni oddechowych najczęściej przeprowadza się z początkowego położenia mięśni wdechowych od objętości zalegającej (P_ImaxRV), to badania wymienionych autorów wykazały, że pomiary od czynnościowej po-

jemności zalegającej (P_ImaxFRC) są bardziej diagnostyczne w różnicowaniu osób nie trenujących i zawodników.

Istotną kwestią wydaje się odpowiedź na pytanie: jakie czynniki wpływają na wielkość siły mięśni oddechowych u wytrenowanych zawodników. W badaniach własnych (24) przeprowadzonych zgodnie z metodyką opisaną powyżej (P_ImaxRV), w jednorodnej grupie wysoko wytrenowanych wioślarzy seniorów, obserwowano znaczne zróżnicowanie wartości P_Imax, wynosiło ono średnio 157±23 cm H₂O (od 121 do 205 cm H₂O). Nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy wielkością tego wskaźnika a VO₂max. W innych pomiarach

Tabela 1

Wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_Imax – cm H₂O) rejestrowane w grupach osób nie trenujących oraz u zawodników różnych dyscyplin sportu.

Autor	Grupa	Wiek (lata)	Kobiety		Mężczyźni	
			N	P _I max	N	P _I max
Black i Hyatt (4)	osoby nie trenujące	20-54	60	87±16	60	124±22
Chen i Kuo (8)		16-30	20	89±14	20	123±25
Fiz i wsp. (14)		20-29	10	90±26	10	135±33
McConnell i wsp. (29)	osoby umiarkowanie wytrenowane	23±2,8			24	158±29
Fuso i wsp. (15)	elita piłkarzy nożnych	23±3			27	114±32
Romer i wsp. (35)	kolarze i triathloniści	30±3 E 30±3 C			16	102±6 E 100±6 C
Volianitis i wsp. (50)	elita wioślarzek	24±4	14	104±8 E 130±12 C		
Klusiewicz i wsp. (24)	elita wioślarzy	25±3			15	157±23
Klusiewicz 2007 (dane nie publikowane)	zawodnicy konkurencji wytrzymałościowych	17-34	30	118±24	35	143±25

E – grupa eksperymentalna, C – grupa kontrolna

wykonanych w grupie umiarkowanie wytrenowanych mężczyzn nie obserwowano istotnych korelacji pomiędzy wysokością ciała, masą ciała, indeksem masy ciała (BMI) czy $VO_2\max$ a wartościami maksymalnego ciśnienia wdechowego PI_{\max} (29). Oznacza to, że siła mięśni oddechowych nie była związana z wielkością ciała. Dobrze udokumentowano ujemną korelację między wartościami PI_{\max} a płcią (niższe wartości u kobiet) (8, 14, 15).

Zależność siły mięśni oddechowych od wieku stanowi jeszcze kwestię nieco dyskusyjną. W niektórych badaniach (4) nie obserwowano istotnego obniżania PI_{\max} wraz z wiekiem u osób poniżej wieku 55 lat, podczas gdy inni dowodzili istnienia ujemnej zależności u osób w wieku od 13 do 77 lat (15) i od 20 do 70 lat (14). Podobnie w badaniach **Chen** i **Kuo** (8) siła mięśni oddechowych ulegała istotnemu obniżeniu wraz z wiekiem u badanych w wieku od 16 do 75 lat.

Wytrzymałość mięśni oddechowych może być wyrażona dwojako: jako **maksymalne obciążenie tolerowane w określonym czasie** lub jako **czas, w którym utrzymywane jest określone obciążenie**. Pierwszą z metod ilustruje badanie, w którym w warunkach spoczynku mierzono maksymalną wentylację płuc, jaką zawodnicy byli w stanie utrzymać przez 10 minut (13). Druga polegała na pomiarze czasu, w jakim badani byli zdolni oddychać z oporem stanowiącym 80% maksymalnej tolerowanej wartości (14). Wspomniani autorzy wykazali także istotną dodatnią zależność

między siłą a wytrzymałością mięśni oddechowych. Podobnie w innych badaniach (46) za kryterium oceny wytrzymałości mięśni oddechowych przyjęto czas, w jakim badani byli w stanie oddychać na poziomie 71% maksymalnej dowolnej wentylacji płuc (MVV).

Zmęczenie mięśni oddechowych

Do pomiaru zmęczenia mięśni oddechowych stosowano różne procedury. Polegały one między innymi na stymulacji nerwu przeponowego, wykorzystaniu elektromiografii (EMG) czy pomiarach maksymalnych ciśnień oddechowych (32). Ze względu na nieinwazyjny charakter oraz łatwość przeprowadzania często stosowana jest **ocena różnic pomiędzy wielkością PI_{\max} w pomiarach przed- i powysiłkowych** (10, 23, 26, 29, 50, 51). Ogólnie można stwierdzić, że stopień zmęczenia mięśni oddechowych był zależny od zastosowanego protokołu wysiłkowego oraz poziomu wytrenowania badanych. Symptomy zmęczenia tych mięśni mogą nasilać się szczególnie w czasie wysiłków długotrwałych oraz o wysokiej intensywności, gdy czas ich trwania przekracza 20 minut, intensywność wynosi od 90 do 100% maksymalnych zdolności wysiłkowych (22, 34). Po ekstremalnie długich i wyczerpujących wysiłkach, jak na przykład po 87-kilometrowym ultramaratonie – zmęczenie mięśni oddechowych było obserwowane jeszcze w 3. dniu po zakończeniu zawodów (23). Ostatnie badania wykazały, że zmęczenie mięśni oddechowych może pojawiać się przy znacz-

nie krótszych wysiłkach maksymalnych: po 6-minutowym symulowanym pokonaniu dystansu startowego przez wioślarza (51), a nawet po przepłynięciu pojedynczego odcinka 200 m stylem dowolnym (26).

Wpływ poziomu wydolności fizycznej na zmęczenie mięśni oddechowych ilustrują badania **Coasta i wsp.** (10), w których symptomy zmęczenia mięśni oddechowych po wysiłku maksymalnym obserwowano jedynie u osób nie trenujących – przy braku podobnych zmian u wysoko wytrenowanych narciarzy-biegaczy. Jednak nie we wszystkich pracach wyniki były jednoznaczne. Część autorów (36) podkreśla, że **zmęczenie mięśni oddechowych może być powodem obniżenia zdolności wysiłkowych nawet u zawodników o wysokim poziomie wytrenowania**. Również przytoczone powyżej badania wioślarzy (51) potwierdzają, że wysoki poziom wydolności tlenowej nie zapobiega zmęczeniu mięśni oddechowych, jeśli wymagania wentylacji są tak wysokie jak przy pokonaniu dystansu startowego. Dla praktyki treningowej istotne jest jednak, że TMO – poprzez zwiększanie ich siły – przyczynia się do zwiększenia odporności na zmęczenie (29).

Część autorów (22, 29, 46) wskazuje na związek pomiędzy zdolnością do wykonywania wysiłku a stopniem zmęczenia mięśni oddechowych i kosztem energetycznym ich pracy. W czasie intensywnych wysiłków, u wysoko wytrenowanych osób zapotrzebowanie na tlen mięśni oddechowych może wynosić nawet 16% maksymalnego poboru tlenu

oraz maksymalnej pojemności minutowej serca, limitując w ten sposób zdolności wysiłkowe innych grup mięśni szkieletowych (1, 19, 47). W warunkach spoczynkowych u osoby zdrowej mięśnie oddechowe zużywają od 2 do 5% tlenu wykorzystywanego przez organizm (12, 40). **Boutellier i wsp.** (7) obserwowali towarzyszący zmęczeniu mięśni oddechowych wzrost wentylacji minutowej płuc w czasie wysiłku o stałej intensywności oraz jej obniżenie po zastosowaniu TMO. Wykształcenie w toku treningu optymalnego fizjologicznie sposobu oddychania podczas wysiłku, polegającego na nasileniu wentylacji płuc na drodze właściwej proporcji pomiędzy ilością oddechów a ich głębokością (unikanie zbytniego spłycenia oddechu) oraz odpowiednia koordynacja oddychania z techniką ruchu – może zmniejszyć koszt energetyczny pracy mięśni oddechowych.

Podstawowe założenia treningu mięśni oddechowych

Teoretyczne podstawy TMO i jego praktycznych aplikacji znaleźć można w doniesieniach medycznych. Opisywano w nich korzystny wpływ tego rodzaju treningu u pacjentów ze schorzeniami układu oddechowego, takimi jak astma, POChP czy rozedma płuc. Wskazywano również na jego zastosowanie po okresach braku codziennej aktywności ruchowej z powodu np. choroby układu sercowo-naczyniowego. W sporcie wyczynowym uzasadnienie potrzeby wprowadzenia TMO, nawet dla wysoko wy-

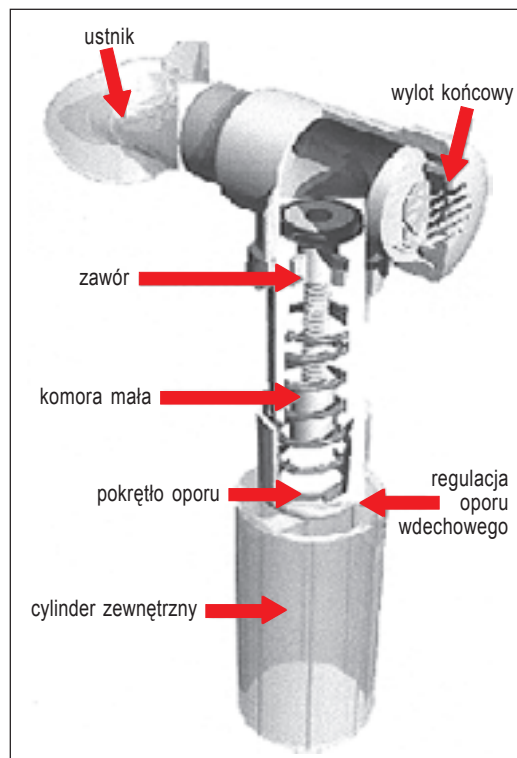
trenowanych zawodników, jak wspomniano wcześniej, wiąże się bezpośrednio z faktem występowania zmęczenia mięśni oddechowych w czasie wysiłku. W stosunku do zdrowych, młodych osób stosuje się zasadniczo dwie odmienne formy TMO: **trening oporowy mięśni wdechowych** oraz **dowolną normokapniczną hiperwentylację**. W odróżnieniu od pierwszej formy treningu, służącej przede wszystkim poprawie siły (mocy) mięśni oddechowych, druga angażuje zarówno mięśnie wdechowe jak i wydechowe oraz wpływa na rozwój wytrzymałości tych mięśni. Oto charakterystyka wymienionych form TMO.

W **oporowym TMO** uwzględnia się podstawową zasadę, że – w przeciwieństwie do wydechu – wdech jest aktem czynnym i wymaga skurczu mięśni. Wobec powyższego w urządzeniach do tego rodzaju treningu stosuje się dozowanie oporu wdechowego przy swobodnym wydechu. W wyniku licznych badań, prowadzonych w zagranicznych ośrodkach naukowych, powstało wiele specjalnych urządzeń do TMO, zarówno dla osób aktywnych ruchowo, jak i dla zawodników. U sportowców często stosowano specjalny model POWERbreathe® (*sports performance inspiratory muscle trainer* IMT Technologies Ltd., Birmingham, UK) (24, 26, 35-38, 49-51). Rycina 2 przedstawia budowę urządzenia do TMO umożliwiającego stopniowe dozowanie oporu wdechowego (wzrost obciążeń treningowych) w miarę postępów ćwiczących.

Z punktu widzenia efektywności treningu oprócz oporu wdechowego bardzo

istotna jest poprawna technika wykonania wdechu. Wdechy są pełne, szybkie i silne, natomiast wydechy – długie i wolne. Istotne jest, aby każdy wdech rozpoczynał się od objętości zalegającej (RV), tzn. po wykonaniu głębokiego wydechu i był kontynuowany w pełnym zakresie ruchomości klatki piersiowej. Ze względu na wzrost objętości oddechu – należy zmniejszyć jego częstotliwość, aby zapobiec hiperwentylacji i towarzyszącej jej hipokapni. Po krótkiej praktyce trening nie sprawia trudności.

Trening siły (mocy) mięśni oddechowych z pomocą urządzenia POWERbreathe® polega na wykonaniu



Ryc. 2. Budowa urządzenia do treningu mięśni oddechowych POWERbreathe®.

po 30 wdechów dwukrotnie w ciągu dnia – rano i wieczorem, a czas trwania pojedynczej sesji na ogół nie przekracza 5 minut. Prawidłową intensywność ustala się poprzez ustawienie oporu wdechowego specjalnym pokrętkiem tak, aby wykonanie 30 wdechów wymagało wysiłku, ale bez odczuwania bólu. W pierwszych dniach treningu przy nowym ustawieniu oporu wdechowego zawodnicy nie będą w stanie wykonać całego programu, jednak w ciągu najbliższych kilku dni powinna nastąpić odczuwalna poprawa dyspozycji. W ciągu kilku pierwszych dni po treningu może być odczuwalna przejściowa „bolesność” klatki piersiowej. Wskazana wysoka intensywność jest zalecona jedynie tym osobnikom, którzy są zaadaptowani do dużego wysiłku sportowego. Główną zasadą jest **stopniowe zwiększanie oporu** wraz z postępem ćwiczących. Należy także podkreślić możliwości komputerowej rejestracji generowanych ciśnień wdechowych jak i sposobu oddychania w czasie TMO. Na przykład w badaniach własnych precyzyjne określenie oporu wdechowego oraz bieżący podgląd techniki oddychania zapewniały sprzężenie zestawu pomiarowego Lungtest 1000 (MES, Kraków, Polska) z urządzeniem POWERbreathe®. Zwrotna informacja na ekranie monitora o wielkości poszczególnych ciśnień wdechowych jak i sposobie wykonania wdechu sprzyjała skuteczności TMO.

TMO o charakterze wytrzymałości (dowolna normokapniczna hiperwentylacja) został wykorzystany w badaniach

wysoko wytrenowanych kolarzy. Wykonywali oni przez 30 minut dynamiczną pracę mięśni oddechowych do całkowitego zmęczenia (44). Nie stosowano oporów wdechowych, natomiast badani nasilali wentylację minutową płuc do poziomu 50-60% maksymalnej dowolnej wentylacji płuc z 15 sekund (MVV_{15}) i oddychali z częstotliwością 50-60 oddechów na minutę. W miarę postępów w TMO globalną pracę mięśni oddechowych (minutową wentylację płuc) zwiększano poprzez wzrost głębokości i częstotliwości oddechów: pierwszy tydzień 129 ± 9 l/min, ostatni – piąty tydzień treningu 149 ± 34 l/min. W innych badaniach (6, 28, 46) zastosowano także podobny model treningu wytrzymałościowego mięśni oddechowych, polegający na wykonaniu 30 minut nasilonej VE. Do tego typu TMO wykorzystywano często specjalne urządzenia kontrolno-pomiarowe (13, 31, 45, 46).

Podobnie jak w przypadku mięśni szkieletowych efekty TMO będą zależne od prawidłowego dozowania obciążenia. W treningu o profilu siłowym (moc) należy uwzględnić przede wszystkim: poprawną technikę wykonania ćwiczenia, wielkość oporu wdechowego, częstotliwość i objętość jednostek treningowych, ich umiejscowienie w cyklu treningu. Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że stosuje się szeroki zakres wielkości oporu wdechowego, od 50 do 80% P_{Imax} . W badaniach własnych u czołowych wioślarzy oceniono efekty 4-tygodniowego TMO z oporem odpowiadającym średnio 50% P_{Imax} (dane nie publikowane). Stwierdzono, że w okresie star-

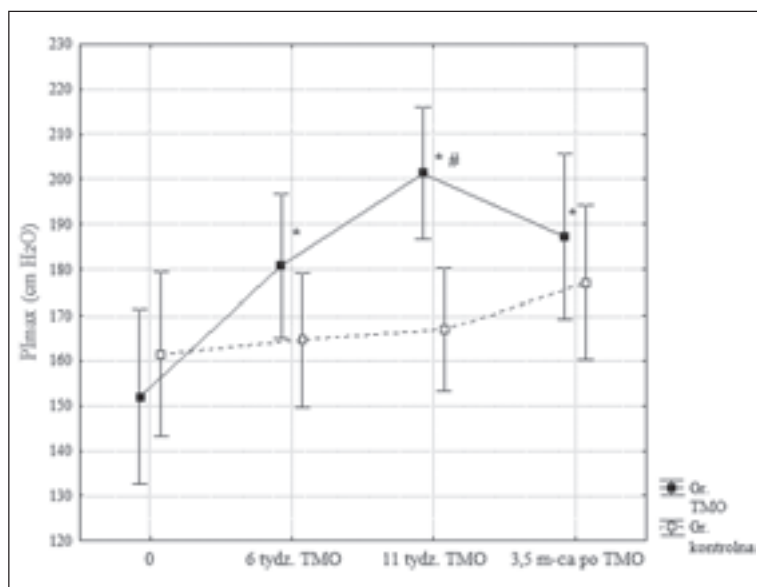
towym u wysoko wytrenowanych zawodników trening z wymienionym obciążeniem nie wpłynął na istotny przyrost P_{lmax}. Poprawie uległa technika oddychania.

Należy podkreślić, iż w aktualnym piśmiennictwie brak jest także jednoznacznych danych na temat miejsca TMO w poszczególnych okresach rocznego cyklu treningowego. Można założyć, że wyraźne efekty tego typu treningu uzyskuje się po okresie 2-3 miesięcy, natomiast jego kontynuacja przy zmniejszonej objętości (2-3 dni treningowe w tygodniu), ma na celu podtrzymanie uzyskanych efektów. Dla przykładu, rozpoczęcie TMO w badaniach wioślarzy i kajakarzy przygotowujących się do startu w Igrzyskach Olimpijskich (Ateny 2004) nastąpiło w początkowej fazie okresu startowego na 3 miesiące przed główną imprezą.

Zmiany siły i wytrzymałości mięśni oddechowych pod wpływem specyficznego treningu

W badaniach własnych wioślarzy grupa eksperymentalna została objęta 11-tygodniowym TMO o profilu siła/moc, zaś grupa kontrolna realizowała typowy dla wioślarza trening podstawowy (24). TMO polegał na wykonaniu po 30 wdechów dwukrotnie w ciągu dnia, z wykorzystaniem urządzenia POWERbreathe®. Wielkość oporu wdechowego w urządzeniu ustalano na podstawie aktualnych pomiarów P_{lmax} (pierwsze 6 tygodni średnio 62±3% P_{lmax}, ostatnie 5 tygodni odpowiednio 77±5%).

Po 11 tygodniach TMO istotny statystycznie wzrost P_{lmax} wyniósł średnio 34±19%, przy czym obserwowano duże



Ryc. 3. Zmiany wartości maksymalnego ciśnienia wdechowego (P_{lmax}) w kolejnych tygodniach treningu mięśni oddechowych (TMO) w grupie wioślarzy (n=15), według Klusiewiczza i wsp. (24).

zróznicowanie (ryc. 3). Indywidualny zakres zmian mieścił się w przedziale od +20 do +75% P_{Imax}. W grupie kontrolnej w analogicznym okresie nie stwierdzono istotnej poprawy wartości P_{Imax} (4±9%), a w indywidualnych przypadkach zmiany miały charakter zarówno przyrostów jak i spadków w porównaniu do wartości wyjściowych (od -15 do +13%). Przepuszczalnie dalszy trening wytrzymałościowy bez TMO u osób wysoko wytrenowanych – tak jak w grupie kontrolnej, nie wpływa na poprawę siły mięśni oddechowych.

Podobnie w innych badaniach (3) nie odnotowano istotnych różnic w zakresie P_{Imax} pomiędzy trzema grupami realizującymi różny trening podstawowy. Dodać jednak należy, że dane piśmiennictwa na temat wpływu treningu wytrzymałościowego na zmiany wartości P_{Imax} nie są jednoznaczne. **Clanton i wsp.** (9) zarejestrowali istotną poprawę siły i wytrzymałości mięśni oddechowych po 12-tygodniowym treningu pływakim.

TMO nie stanowił dużego dodatkowego obciążenia dla wioślarzy w okresie startowym, a jednocześnie doprowadził do istotnej poprawy siły mięśni oddechowych już po 6 tygodniach. W badaniach innych autorów, u wysoko wytrenowanych wiośłarek brytyjskich po okresie 11 tygodni TMO, uzyskano nieco wyższą istotną poprawę P_{Imax}, wynoszącą średnio 45±30% (50). Zwraca uwagę fakt, że już po okresie 4 tygodni stosowania TMO uzyskano bardzo wyraźne i korzystne efekty. Najistotniejsze było jednak wykazanie, że dodatkowy

trening mięśni wdechowych, obok treningu tradycyjnego, może przyczynić się do większej poprawy zdolności wysiłkowej wiośłarek.

Dane dotyczące zmian wytrzymałości mięśni oddechowych pod wpływem stosowania TMO są niejednoznaczne, choć w przeważającej liczbie prac wskazują na ich pozytywny kierunek. Zakres zmian potreningowych był szeroki, zależny od stosowanej metodyki. W badaniach zawodników uprawiających konkurencje wytrzymałościowe po 4-tygodniowym TMO zanotowano wydłużenie czasu utrzymania VE (odpowiadającej 71% MVV) o 500%: z 5 do 29 minut (46). Natomiast w badaniach wytrenowanych kolarzy przyrost czasu utrzymania minutowej wentylacji płuc na poziomie 100% MVV₁₅ po 3-tygodniowym TMO przekroczył 1500%: z 48 do 804 sekund (31). Podobnie w innej grupie wytrenowanych kolarzy po 4-tygodniowym TMO odnotowano istotny, o 12% (ze 155 do 174 l/min), wzrost maksymalnej wentylacji minutowej płuc, jaką zawodnicy byli w stanie utrzymać przez okres 10 minut (13). Jednakże inni autorzy (44) w badaniach wysoko wytrenowanych kolarzy po okresie 5 tygodni TMO nie obserwowali istotnej poprawy czasu utrzymania nasilonej VE. U osób nie trenujących, po 4-tygodniowym TMO, czas nasilonego oddychania z częstotliwością 45 oddechów/min i głębokością oddechu od 60-66% VC, uległ poprawie o około 270%: z 4 do 15 minut (6). Również u osób nie trenujących, po dłuższym okresie stosowania TMO (15 tygodni) przyrost czasu trwania testu wytrzy-

małości mięśni oddechowych (przy VE na poziomie 70% MVV) przekroczył nawet 600%: z 5 do 38 minut (45).

Dotychczas opublikowano jedynie jednostkowe prace poświęcone **odwracalności efektów TMO**. W badaniach osób nie trenujących całkowite cofnięcie (utrata) efektów TMO obserwowano po okresie 18 miesięcy (6). W przytoczonych badaniach własnych wioślarzy (24), 3,5-miesięczny brak TMO wpłynął na powolne i nieistotne obniżenie wartości P_{lmax} o 10±9% w stosunku do badania na zakończenie treningu (ryc. 3). Jednocześnie nadal obserwowano istotnie wyższy poziom aniżeli przed rozpoczęciem 11-tygodniowego TMO. Wcześniej **Romer i McConnell** (38) już po okresie 9 tygodni braku TMO u zdrowych, nie trenujących osób obserwowali niewielki, lecz istotny spadek dyspozycji mięśni oddechowych, w tym siły o 7%. Wobec powyższego wskazywano na potrzebę podtrzymania osiągniętej adaptacji mięśni oddechowych (utrzymanie 1/3 objętości wcześniejszego treningu: 2 dni treningowe/tydzień, przy zachowaniu jego dotychczasowej intensywności). Utrzymanie efektów TMO u zawodników ma istotne znaczenie, gdyż większa siła mięśni oddechowych oznacza mniejszą ich podatność na zmęczenie (29).

Trening mięśni oddechowych a zdolność do wysiłku

W części prac (6, 7, 17, 28, 35, 46, 50, 55) udokumentowano poprawę zdolności wysiłkowej pod wpływem zastosowania TMO (tabela 2). Wyższą poprawę wyników po TMO (nawet do 50%) no-

towano w długotrwałych testach o submaksymalnej intensywności u zdrowych nie trenujących osób (6), w porównaniu do znacznie krócej trwających wysiłków o maksymalnej intensywności symulujących pokonanie dystansu startowego (4%), a wykonanych przez wytrenowane wioślarzy (50). Jak podkreśla **Sheel** (40), u wysoko wytrenowanych zawodników poprawa wskaźników wysiłkowych po tego rodzaju treningu była relatywnie niższa. W innych badaniach (13, 18, 31, 44, 48, 54) poza poprawą spoczynkowych wartości wybranych wskaźników spirometrii oddechowej, a także siły i wytrzymałości mięśni oddechowych, nie stwierdzono korzystnego wpływu tego rodzaju treningu na zdolność wysiłkową. Podkreślić należy, że **ostatnie prace nie potwierdziły także korzystnego wpływu treningu mięśni wydechowych lub tzw. „treningu mieszanego” (mięśni wdechowych i wydechowych)** na poprawę zdolności wysiłkowej zawodników (17).

Przyczyny braku jednoznacznych wyników nie są jasne. Mogą one wynikać z faktu stosowania różnych programów TMO i urządzeń, w nielicznych na ogół grupach o zróżnicowanym poziomie wytrenowania. Zdaniem **Romera i wsp.** (35), do innych przyczyn można zaliczyć nie zawsze optymalny dobór testu wysiłkowego do oceny zmian wydolności, a także (w części badań) brak pełnej poprawności metodycznej. Dla przykładu, w niektórych pracach (7, 28, 46) po TMO odnotowano istotne wydłużenie czasu trwania wysiłku o stałej intensywności wykonywanego do odmowy i brak

Tabela 2

**Wpływ treningu mięśni oddechowych (TMO) na zdolność wysiłkową
w wybranych badaniach różnych autorów.**

Autor	Badana grupa/okres i rodzaj TMO	Testy / zmiany zdolności wysiłkowej
Poprawa zdolności wysiłkowej		
Boutellier i Piwko (6)	zdrowe, nie trenujące osoby (E=4), 4-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test na cykloergometrze o stałej intensywności (64% VO_{2peak}) do odmowy: E: +50% (S)
Boutellier i wsp. (7)	zdrowe osoby trenujące konkurencje wytrzymałościowe (E=8), 4-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test na cykloergometrze o stałej intensywności (77% VO_{2peak} odpowiadające progowi beztlenowemu) do odmowy: E: +38% (S)
Spengler i wsp. (46)	zawodnicy uprawiający konkurencje wytrzymałościowe (E=20), 4-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test na cykloergometrze o stałej intensywności (87% VO_{2peak}) do odmowy: E: +27% (S)
Markov i wsp. (28)	zdrowe, nie trenujące osoby (E=13, C1=9, C2=15), C1: typowy trening, C2: brak treningu, 15-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test na cykloergometrze o stałej intensywności (70% mocy max) do odmowy: E: +24% (S), C1: +41% (S) C2: -0,04% (NS)
Stuessi i wsp. (45)	zdrowe, nie trenujące osoby (E=13 C=15), 15-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test na cykloergometrze o stałej intensywności (70% mocy max) do odmowy: E: +24% (S), C: -4% (S)
Volianitis wsp. (50)	wysoko wytrenowane wioślarki (E=7, C=7), 11-tygodniowy TMO (profil siła/moc)	test 6-min na ergometrze wioślarskim: (dystans) E: +4% (S), C: +2% (S), test 5 km na ergometrze wioślarskim: E: +3% (S), C: +1% (S)
Romer i wsp. (35)	wytrenowani kolarze i triathloniści (E=8, C=8), 6-tygodniowy TMO (profil siła/moc)	test 20 km na cykloergometrze: E: +3% (S), C: -0,2% (NS), test 40 km na cykloergometrze: E: +3% (S), C: +0,2% (NS)
Griffiths i McConnell (17)	wytrenowani wioślarze (IMT-10, EMT-7), 4-tygodniowy TMO (profil siła/moc)	test 6-min na ergometrze wioślarskim: (dystans) IMT: +1,0% (S), EMT: (NS)
Brak poprawy zdolności wysiłkowej		
Morgan i wsp. (31)	średnio wytrenowani kolarze (E=4, C=5), 3-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test o stałej intensywności (95% VO_{2max}) do odmowy na cykloergometrze: E: -6% (NS), C: -8% (NS)
Fairban i wsp. (13)	wysoko wytrenowani kolarze (E=5, C=5), 4-tygodniowy TMO (profil wytrzymałość)	test o stałej intensywności (90% mocy max) do odmowy na cykloergometrze: E: +25% (NS), C: +4% (NS)
Hanel i Secher (18)	nie trenujące studentki i studenci wychowania fizycznego (E=10, C=10), 4-tygodniowy TMO, (profil siła/moc)	12-min test biegowy Coopera: E: +8% (S), C: +6% (S)
Sonetti i wsp. (44)	wysoko wytrenowani kolarze (E=9, C=8), 5-tygodniowy TMO (profil siła/moc i wytrzymałość)	test o stopniowanej intensywności do odmowy: E: +5% (S), C: +4% (S); test o stałej intensywności (80-85% VO_{2max}) odmowy: E: +25% (S), C: +16% (S); do test 8 km: E: +2% (S), C: -0,4% (NS)

E – grupa eksperymentalna, C – grupa kontrolna, IMT - grupa trenująca mięśnie wdechowe, EMT – grupa trenująca mięśnie wydechowe, (+) – poprawa wyniku, (-) – pogorszenie wyniku, S – różnica istotna statystycznie w porównaniu do wyniku badania wyjściowego, NS – różnica nieistotna statystycznie.

poprawy w teście o stopniowanej intensywności. Z obserwacji własnych wynika, że w odniesieniu do zawodników o wysokim poziomie sportowym istotny jest zarówno profil TMO (siła/moc), relatywnie duży (60-80% P_Imax) i stopniowany w miarę adaptacji opór wdechowyy jak i dostatecznie długi okres stosowania treningu (minimum 6-8 tygodni).

Dane literatury wskazują, że pod wpływem TMO o profilu wytrzymałościowym zachodzą w mięśniach oddechowych zmiany adaptacyjne podobne do obserwowanych w innych mięśniach szkieletowych (33). Po tego typu TMO, oprócz istotnego wydłużenia czasu wysiłku ze stałą intensywnością – odpowiadającą progowi beztlenowemu, obserwowano również obniżanie się stężenia mleczanu we krwi w czasie wysiłku (46). Sugerowano, że może być ono związane z efektem zwiększenia utylizacji mleczanu przez wytrenowane mięśnie oddechowe. Podobny wynik przyniosły obserwacje dokonane podczas 20 minut wysiłku submaksymalnego (37) i podczas wysiłków o stopniowanej intensywności (35). Dodatkowo badania **Romera i wsp.** (37), potwierdziły korzystny wpływ TMO na **skrócenie czasu restytucji** (o $6\pm 1\%$) po wysiłkach powtarzanych o wysokiej intensywności u sprinterów. Po zastosowaniu TMO (16, 35, 50) lub nawet po samej dodatkowej rozgrzewce tych mięśni (51) poprawie ulegała również **subiektywna ocena ciężkości wysiłków** (w oparciu o skalę Borga) o submaksymalnej lub maksymalnej intensywności. W praktyce – już od Igrzysk Olimpijskich w Sydney (2000) –

część odnoszących sukcesy osad wioślarskich Wielkiej Brytanii i Australii stosowała TMO.

Dotychczasowe badania nie potwierdziły korzystnego wpływu TMO na wielkość maksymalnego poboru tlenu u zawodników (13, 21, 35, 44, 46, 54) i u osób nie trenujących (18, 28, 45). Po TMO nie stwierdzono także istotnych zmian w zakresie maksymalnej minutowej wentylacji płuc (13, 18, 21, 46) jak i poprawy zaopatrzenia tlenowego tkanek w czasie wysiłku (brak istotnego wzrostu prężności tlenu i wysycenia tlenem krwi tętniczej) (21, 45). TMO nie wpłynęła także na poprawę mocy wysiłku na poziomie progu beztlenowego, pomimo wydłużenia czasu trwania wysiłku o stałej intensywności (5). Wykazana w innych badaniach (28) istotna poprawa czasu trwania wysiłku o stałej intensywności (o 24%) po 15-tygodniowym TMO – nie była związana ze zmianą sercowo-naczyniowej odpowiedzi na wysiłek ani ze zmianą utylizacji substratów energetycznych podczas wysiłku (brak po treningu istotnych różnic objętości wyrzutowej serca, częstości skurczów serca oraz ilorazu oddechowego). Jednakże inni autorzy (16) obserwowali istotnie niższą reakcję układu krążenia (częstość skurczów serca) na submaksymalny wysiłek po zastosowaniu TMO o profilu siłowym (moc) z obciążeniem odpowiadającym 100% maksymalnego ciśnienia wdechowego.

Na obecnym etapie badań naukowych wysuwane są jedynie hipotezy na temat fizjologicznych mechanizmów, które mogą wpływać na poprawę zdol-

ności wysiłkowej. Wymienia się tu m.in.: zmniejszenie zmęczenia mięśni oddechowych, zmniejszenie odczucia duszności wysiłkowej i ciężkości wysiłku, zwiększenie sprawności wentylacyjnej poprzez zwiększenie objętości oddechowej przy zachowaniu rytmu oddechowego, redystrybucję przepływu krwi z mięśni oddechowych do pracujących mięśni szkieletowych (28, 35, 40, 50). W niektórych dyscyplinach sportu, jak na przykład w wioślarstwie, dodatkowo znaczenia nabiera fakt, że czynność mięśni oddechowych związana jest nie tylko z aktem oddychania, lecz także ze stabilizacją klatki piersiowej. Zmęczenie tych mięśni – ograniczające stabilizację klatki piersiowej – może równocześnie zmniejszać efektywność techniki wioślarskiej. Wydaje się, że w związku ze znacznym zainteresowaniem tą tematyką w najbliższym czasie dojdzie do wyjaśnienia szeregu kwestii, jeszcze dziś dyskutowanych.

Dalsze zastosowania urządzeń do treningu mięśni oddechowych

Należy zwrócić także uwagę na zastosowanie TMO. po okresie unieruchomienia lub po przebytych urazie. Zdaniem producenta POWERbreathe®, w okresie przerwy w treningu – TMO może mieć istotne znaczenie w podtrzymaniu lub przywróceniu wydolności układu oddechowego. Uczeni brytyjscy podjęli prace nad celowością wprowadzenia dodatkowej rozgrzewki mięśni oddechowych (49) i jej wpływem na zdolność do pokonania wysiłku starto-

wego przez wioślarzy (51). Jakkolwiek stwierdzono obniżenie siły mięśni wdechowych po wysiłku maksymalnym, niezależnie od rodzaju rozgrzewki, to jednak najmniejsze zmęczenie mięśni wdechowych wystąpiło po zastosowaniu dodatkowej rozgrzewki z wykorzystaniem urządzenia do TMO. Stwierdzono także poprawę zdolności wysiłkowej u wioślarza po specyficznej rozgrzewce mięśni oddechowych (wzrost mocy średniej o 1% i wydłużenie pokonanego dystansu o 7 m w tzw. teście 6-minutowym) w porównaniu do tradycyjnego modelu rozgrzewki wioślarskiej. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic maksymalnych wartości wentylacji płuc i poboru tlenu między wariantami zastosowanych rozgrzewek. Zwraca także uwagę fakt, że dodatkowa rozgrzewka mięśni oddechowych zmniejszała dyskomfort towarzyszący maksymalnemu wysiłkowi, poprzez łagodzenie odczucie duszności wysiłkowej.

Podsumowanie

Trening mięśni oddechowych, fizjologiczne mechanizmy jego oddziaływania oraz wpływ na poprawę zdolności wysiłkowej zawodników stanowi w ostatnich latach przedmiot znacznego zainteresowania wielu ośrodków badawczych. Jakkolwiek szereg kwestii wciąż pozostaje otwartych i wymaga dalszych badań, wydaje się, że doniesienia o korzystnym wpływie tego rodzaju treningu na zdolność do wysiłku wzbudzają zainteresowanie ze strony wielu środowisk sportowych. Nie bez znaczenia pozostaje fakt dużej dostępności coraz bardziej

zaawansowanych technicznie urządzeń do treningu mięśni oddechowych. Trening ten nie stanowi zbyt dużego dodatkowego obciążenia dla zawodników, a jednocześnie przynosi korzyści już po okresie kilku tygodni.

Piśmiennictwo

1. Aaron E. A. et al.: *Oxygen cost of exercise hyperpnea: measurement*. „*Journal of Applied Physiology*” 1992, 72: 1810-1817.
2. Aaron E. A. et al.: *Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance*. „*Journal of Applied Physiology*” 1992, 72: 1818-1825.
3. Armour J., Donnelly P. M., Bye P. T. P.: *The large lungs of elite swimmers: an increased alveolar number?* „*European Respiratory Journal*” 1993, 6: 237-247.
4. Black L. F., Hyatt R. E.: *Maximal respiratory pressures. Normal values and relationship to age and sex*. „*American Review of Respiratory Disease*” 1969, 99: 696-702.
5. Boussana A. et al.: *The effect of cycling followed by running on respiratory muscle performance in elite and competition triathletes*. „*European Journal of Applied Physiology*” 2002, 87: 441-447.
6. Boutellier U., Piwko P.: *The respiratory system as an exercise limiting factor in normal sedentary subjects*. „*European Journal of Applied Physiology*” 1992, 64: 145-152.
7. Boutellier U. et al.: *The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects*. „*European Journal of Applied Physiology*” 1992, 65: 347-353.
8. Chen Hsiun-ing, Kuo Ching-su: *Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors*. „*Journal of Applied Physiology*” 1989, 66: 943-948.
9. Clanton T. L. et al.: *Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning*. „*Journal of Applied Physiology*” 1987, 62: 39-46.
10. Coast J. R. et al.: *Maximal inspiratory pressure following maximal exercise in trained and untrained subjects*. „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 1990, 22: 811-815.
11. Dempsey J. A. et al.: *Pulmonary system limitations to exercise in health*. „*Canadian Journal of Applied Physiology*” 2003, 28: S2-24.
12. Doboszyńska A., Wrotek K. (red.): *Badania czynnościowe układu oddechowego*. Warszawa 2004. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, wydanie II.
13. Fairbairn M. S. et al.: *Improved respiratory muscle endurance of highly trained cyclists and the effects on maximal exercise performance*. „*International Journal of Sports Medicine*” 1991, 12: 66-70.
14. Fiz J. A. et al.: *Indices of respiratory muscle endurance in healthy subjects*. „*Respiration*” 1998, 65: 21-27.
15. Fuso L. et al.: *Maximal inspiratory pressure in elite soccer players*. „*Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*” 1996, 36: 67-71.
16. Gething A. D., Passfield L., Davies B.: *The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate perceived exertion*. „*European Journal of Applied Physiology*” 2004, 92: 50-55.
17. Griffiths L. A., McConnell A. K.: *The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance*. „*European Journal of Applied Physiology*” 2007, 99: 457-466.
18. Hanel B., Secher N. H.: *Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study*. „*Journal of Sports Sciences*” 1991, 9: 43-52.
19. Harms C. A. et al.: *Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise*. „*Journal of Applied Physiology*” 1998, 85: 609-618.

20. Harms C. A. et al.: *Effects of respiratory muscle work on exercise performance.* „*Journal of Applied Physiology*” 2000, 89: 131-138.
21. Inbar O. et al.: *Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2000, 26: 610-614.
22. Johnson B. D. et al.: *Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 1996, 28: 1129-1137.
23. Ker J. A., Schultz C. M.: *Respiratory muscle fatigue after an ultramarathon measured as respiratory task failure.* „*International Journal of Sports Medicine*” 1996, 17: 493-496.
24. Klusiewicz A. et al.: *Specificity and reversibility of inspiratory muscle training in elite rowers.* 9th International Scientific Conference of the IASK with Faculty of Motor Science – University of Bologna, 16-18. September 2005, Rimini, Italy (streszczenie): 157.
25. Kowalski J., Koziorowski A., Radwan L. (red.): *Ocena czynności płuc w chorobach układu oddechowego.* Warszawa 2004, Wydawnictwo Medyczne Borgis, wydanie I: 94-128.
26. Lomax M. E., McConnell A. K.: *Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim.* „*Journal of Sports Sciences*” 2003, 21: 659-664.
27. Mador M. J., Acevedo F. A.: *Effect of respiratory muscle fatigue on breathing pattern during incremental exercise.* „*American Review of Respiratory Disease*” 1991, 143: 462-468.
28. Markov G. et al.: *Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting cardiovascular responses to exercise.* „*European Journal of Applied Physiology*” 2001, 85: 233-239.
29. McConnell A. K., Caine M. P., Sharpe G. R.: *Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength.* „*International Journal of Sports Medicine*” 1997, 18: 169-173.
30. McConnell A. K., Romer L. M.: *Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy.* „*International Journal of Sports Medicine*” 2004, 25: 284-293.
31. Morgan D. W. et al.: *Effects of respiratory muscle endurance training on ventilatory and endurance performance of moderately trained cyclists.* „*International Journal of Sports Medicine*” 1987, 8: 88-93.
32. Ozkaplan A., Rhodes E. C.: *Exercise induced respiratory muscle fatigue – a review of methodology and recent findings.* „*Biology of Sport*” 2004, 21: 207-230.
33. Powers S. K., Criswell D.: *Adaptive strategies of respiratory muscles in response to endurance exercise.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 1996, 28: 1115-1122.
34. Powers S. K., Coombes J., Demirel H.: *Exercise training-induced changes in respiratory muscles.* „*Sports Medicine*” 1997, 24: 120-131.
35. Romer L. M., McConnell A. K., Jones D. A.: *Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists.* „*Journal of Sports Sciences*” 2002, 20: 547-562.
36. Romer L. M., McConnell A. K., Jones D. A.: *Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2002, 34: 785-792.
37. Romer L. M., McConnell A. K., Jones D. A.: *Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high intensity, repetitive sprint activity.* „*International Journal of Sports Medicine*” 2002, 23: 353-360.
38. Romer L. M., McConnell A. K.: *Specificity and reversibility of inspiratory muscle training.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2003, 35: 237-244.
39. Romer L. M., McConnell A. K.: *Inter-test reliability for non-invasive measurements*

- of respiratory muscle function in healthy humans.* „*European Journal of Applied Physiology*” 2004, 91: 167-176.
40. Sheel A. W.: *Respiratory muscle training in healthy individuals. Physiological rationale and implications for exercise performance.* „*Sports Medicine*” 2002, 32: 567-581.
 41. Śliwinski P. et al.: *Influence of global inspiratory muscle fatigue on breathing during exercise.* „*Journal of Applied Physiology*” 1996, 80: 1270-1278.
 42. Śliwinski P. et al.: *Czynność przepony podczas wysiłku.* „*Pneumonologia i Alergologia Polska*” 1996, 64: 577-589.
 43. Śliwinski P. et al.: *Wpływ zmęczenia mięśni oddechowych na ich czynność podczas wysiłku.* „*Pneumonologia i Alergologia Polska*” 1996, 64: 590-603.
 44. Sonetti D. A. et al.: *Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance.* „*Respiratory Physiology*” 2001, 127: 185-199.
 45. Stuessi C. et al.: *Respiratory muscle endurance training in humans increases cycling endurance without affecting blood gas concentrations.* „*European Journal of Applied Physiology*” 2001, 84: 582-586.
 46. Spengler C. M. et al.: *Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans.* „*European Journal of Applied Physiology*” 1999, 79: 299-305.
 47. Topin N. et al.: *Gender influence on the oxygen consumption of the respiratory muscles in young and older healthy individuals.* „*International Journal of Sports Medicine*” 2003, 24: 559-564.
 48. Vrabas I. S.: *Respiratory muscle strength training: effects of training and implications for sport and exercise.* 4th International Conference on Strength Training, 3-7 November 2004. Serres, Greece, Book of Abstracts: 64-67.
 49. Volianitis S. et al.: *The influence of prior activity upon inspiratory muscle strength in rowers and non-rowers.* „*International Journal of Sports Medicine*” 1999, 20: 542-547.
 50. Volianitis S. et al.: *Inspiratory muscle training improves rowing performance.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2001, 33: 803-809.
 51. Volianitis S. et al.: *Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2001, 33: 1189-1193.
 52. Warren G. L., Cureton K. J., Sparling P. B.: *Does lung function limit performance in an 24-hour ultramarathon?* „*Respiratory Physiology*” 1989, 78: 253-263.
 53. Wen A. S., Woo M. S., Keens T. G.: *How many manoeuvres are required to measure maximal inspiratory pressure accurately?* „*Chest*” 1997, 111: 802-807.
 54. Williams J. S. et al.: *Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes.* „*Medicine and Science in Sports and Exercise*” 2002, 34: 1194-1198.
 55. Wylegala J. A. et al.: *Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers.* „*European Journal of Applied Physiology*” 2007, 99: 393-404.
-
-