

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
WE WROCŁAWIU  
WYDZIAŁ FIZJOTERAPII

Paulina Okrzymowska

TRENING MIĘŚNI WDECHOWYCH W PROCESIE  
SZKOLENIA NIEPEŁNOSPRAWNYCH PŁYWAKÓW

Praca doktorska  
wykonywana w Zakładzie Fizjoterapii  
w Chorobach Wewnętrznych  
Akademii Wychowania Fizycznego  
we Wrocławiu

Promotor pracy doktorskiej:  
prof. dr hab. Krystyna Rożek-Piechura

WROCŁAW 2022

Spis treści	
WYKAZ SKRÓTÓW UŻYWANYCH W TEKŚCIE .....	3
I WSTĘP .....	5
I.1 Charakterystyka zmian parametrów czynnościowych układu oddechowego wśród sportowców .....	6
I.2 Znaczenie zmęczenia mięśni oddechowych .....	9
I.3 Trening mięśni wdechowych jako bodziec zmniejszający zmęczenie oddechowe.....	11
I.4 Możliwości zastosowania treningu mięśni wdechowych u sportowców z niepełnosprawnościami.....	15
II CEL PRACY .....	17
III HIPOTEZY BADAWCZE .....	17
IV MATERIAŁ I METODY BADAWCZE .....	18
IV 1. Osoby badane .....	18
IV 2. Metody.....	19
IV 3. Metody statystyczne .....	31
V WYNIKI .....	32
VI 1. Badanie czynnościowe układu oddechowego .....	32
VI 2. Badanie maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego .....	45
VI 3. Badanie wybranych parametrów ocenianych podczas prób wydolnościowych.....	50
VI DYSKUSJA.....	65
VII WNIOSKI.....	77
VIII PIŚMIENNICTWO.....	78
STRESZCZENIE.....	88
ABSTRAKT (streszczenie w języku angielskim) .....	91
SPIS RYCIN .....	94
SPIS TABEL.....	97

## WYKAZ SKRÓTÓW UŻYWANYCH W TEKŚCIE

FEV<sub>1</sub> (*ang. forced expiratory volume in 1-second*) – natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa;

FEV<sub>1</sub>%FVC (*ang. forced expiratory volume in 1-second % of forced vital capacity*) – wskaźnik *pseudo-Tiffeneau*;

FVC (*ang. forced vital capacity*) – natężona pojemność życiowa;

HR (*ang. heart rate*) – częstość akcji serca;

HR d-100% – częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 100% prędkości maksymalnej;

HR d-77% – częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej;

HR d-83% – częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej;

HR d-88% – częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej;

HR d-93% – częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej;

IMT (*ang. inspiratory muscle training*) – trening mięśni wdechowych;

La [mmol] d-100% – stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania z maksymalną prędkością;

La [mmol] d-77% – stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej;

La [mmol] d-83% – stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej;

La [mmol] d-88% – stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej;

La [mmol] d-93% – stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej;

MEF50 (*ang. maximal expiratory flow in 50% of forced vital capacity*) – maksymalny przepływ wydechowy w 50% natężonej pojemności życiowej;

MEP (*ang. maximal expiratory pressure*) – maksymalne ciśnienie wydechowe;

MIP (*ang. maximal inspiratory pressure*) – maksymalne ciśnienie wdechowe;

MVV (*ang. maximal voluntary ventilation*) – maksymalna dowolna wentylacja;

PEF (*ang. peak expiratory flow*) – szczytowy przepływ wydechowy;

RV (*ang. residual volume*) – objętość zalegająca;

TV (*ang. tidal volume*) – objętość oddechowa;

VC (*ang. vital capacity*) – pojemność życiowa.

## I WSTĘP

Pływanie jest jednym z najbardziej popularnych sportów wśród z niepełnosprawnościami z upośledzeniem fizycznym, wizualnym lub intelektualnym (Tweedy i Vanlandewijck, 2009).

Narodowy Instytut Statystyki i Studiów Ekonomicznych we Francji podał, że pływanie znalazło się na 11. miejscu pod względem wielkości uprawianych sportów z 300900 licencjami federacyjnymi (The National Institute of Statistics and Economic Studies, 2018). Urząd satystyczny z Danii ogłosił, że pływanie było na drugim miejscu uprawianych sportów wśród dzieci (Laub i Pilgaard, 2018) i podobne tendencje zaobserwowano u dzieci na terenie Australii (Australian Bureau of Statistics, 2018).

Liczba publikacji dotyczących „pływania” znacznie wzrosła w ciągu ostatniej dekady (1641 publikacji ukazało się w 2010 roku, a 2460 prac opublikowano w 2020 roku, zgodnie z raportem PubMed 2021). Dlatego ważne jest, aby zapewnić trenerom i specjalistom pływackim aktualny przegląd dotyczący optymalnych praktyk treningowych w celu poprawy wyników pływackich.

Sport paraolimpijski jest coraz częściej pośrednikiem zmian społecznych, które stają się przyczynkiem do przełamywania bariery dyskryminacji osób z niepełnosprawnościami. Termin „paraolimpijski” pochodzi od greckiego przyimka „para” czyli obok lub wraz i słowa „olimpiada”, rozumianego jako sport elitarny. Jednocześnie warto wskazać, iż co 4 lata w 20 sportach letnich rywalizuje ze sobą około 4000 sportowców z niepełnosprawnościami. Sporty paraolimpijskie rozwinęły się jako adaptacje równoważnych dyscyplin dla osób pełnosprawnych lub jako sport nieistniejący dla pełnosprawnych, a opracowany z myślą o danym typie niepełnosprawności. Przykładem takiej dyscypliny może być goalball dla sportowców z wadami wzroku lub boccia dla sportowców z ciężką hipertonią, ataksją lub atetozą. Sport paraolimpijski jest stosunkowo młody. Sam zamysł tego typu konkurencji pojawił się 1948 r. w Wielkiej Brytanii. Pierwsze letnie igrzyska paraolimpijskie odbyły się w 1960 r. we Włoszech. W rywalizacji wzięło udział 400 zawodników z 23 krajów (Webborn i Van de Vliet, 2012).

Od II Wojny Światowej sport z udziałem osób z niepełnosprawnościami w Polsce stopniowo ewoluował. Osoby z niepełnosprawnością intelektualną nie brały

udziału w żadnych wydarzeniach sportowych do końca lat sześćdziesiątych. Pierwsze w Polsce wydarzenie sportowe pod nazwą Olimpiady Specjalne zorganizowano dopiero w 1969 roku w Poznaniu. Znaczącą rolę w rozwoju Olimpiad Specjalnych początkowo odegrało Towarzystwo Przyjaciół Dzieci oraz Stowarzyszenie Sportowe „Start”. Działania podejmowane przez grupy rodziców dzieci niepełnosprawnych odegrały kluczową rolę w rozwoju sportu osób z niepełnosprawnościami w Polsce. W latach 80. nawiązano współpracę z Międzynarodówką Olimpiad Specjalnych w USA, skąd uzyskano wsparcie organizacyjne i finansowe. W rezultacie pojawiła się szansa dołączenia do międzynarodowych zawodów osób z niepełnosprawnościami (Pilecka i Jure, 2020).

Aktualnie znaczna grupa pływaków z niepełnosprawnościami zrzeszona jest w Polskim Związku Sportu Niepełnosprawnych „Start” (dalej jako PZSN „Start”). Na podstawie analizy danych przeprowadzonych przez Główny Urząd Statystyczny w 2018 r. należy wskazać, że Polski Związek Sportu Niepełnosprawnych „Start” liczył 2,2 tys. członków oraz 3,3 tys. ćwiczących. Polski Związek Sportu Niepełnosprawnych „Start” to ogólnopolska organizacja sportowa, prowadząca swoją działalność zarówno w obszarze sportu wyczynowego i jak w rekreacji ruchowej. Od 1994 r. zajmuje się również rehabilitacją i rekreacją osób z niepełnosprawnościami. PZSN „Start” prowadzi treningi w pięciu zimowych i dziesięciu letnich dyscyplinach paraolimpijskich, w tym również w pływaniu osób z niepełnosprawnościami (Urząd Statystyczny w Rzeszowie, 2019).

### **I.1 Charakterystyka zmian parametrów czynnościowych układu oddechowego wśród sportowców**

Dostępne piśmiennictwo wskazuje, że sportowcy uprawiający sporty wytrzymałościowe (wioślarstwo, kajakarstwo, pływanie, biegi długodystansowe, kolarstwo etc.) mają większą objętość płuc w porównaniu do sportów zręcznościowych, mieszanych i siłowych (Lazovic i wsp., 2015). Według Durmic i wsp. (2015) rodzaj uprawianego sportu ma istotny wpływ na fizjologiczną adaptację układu oddechowego. Eksperymentem objęto 150 sportowców płci męskiej z czterech różnych dyscyplin (koszykówka, piłka ręczna, piłka nożna i piłka wodna). We wszystkich grupach

wiekowych i typach sportu badani uzyskali znacząco wyższe wartości spirometryczne niż wartości referencyjne. Co ciekawe wartości FVC, FEV<sub>1</sub>, VC i MVV były wyższe u graczy w piłkę wodną niż u zawodników innych ocenianych dyscyplin sportowych ( $p < 0,001$ ). Większość parametrów antropometrycznych/demograficznych korelowała istotnie z ocenianymi parametrami spirometrycznymi. Ponadto wskaźnik BMI dodatnio korelował ze wszystkimi ocenianymi parametrami spirometrycznymi ( $p < 0,001$ ), przy czym najsilniejsza z tych korelacji występowała między BMI a maksymalną wentylacją dowolną ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,001$ ) (Durmic i wsp., 2015).

Z dostępnych analiz wynika, że osoby o wyższym poziomie aktywności fizycznej mają wyższą pojemność życiową (VC) niż osoby mniej aktywne w tym samym wieku, tej samej płci i tej samej wysokości ciała (Bakhtar i wsp., 2019; Rong i wsp., 2008). Aktywność fizyczna i zastosowane ćwiczenia poprawiają VC, natężoną pojemność życiową (FVC) i maksymalną dowolną wentylację (MVV) w porównaniu z osobami prowadzącymi siedzący tryb życia (Atan i wsp., 2012; Durmic i wsp., 2017). Istnieją różne badania porównujące parametry oddechowe elitarnych sportowców w celu określenia wpływu różnych aktywności fizycznych na czynność płuc. (Dumnica i wsp., 2017; Lazovic-Popovic i wsp., 2015). Durmica i wsp. (2017) porównali funkcje płuc sportowców wytrzymałościowych i siłowych, i stwierdzili, że FVC, FEV<sub>1</sub> i VC w grupie sportowców wytrzymałościowych parametry były znacznie wyższe niż pomiary zarówno w grupie sportowców uprawiających sporty siłowe, jak i w kontrolnej. Wskazuje to, że ćwiczenia wytrzymałościowe mogą wpływać na czynność płuc. Tożsame badanie z udziałem 1639 sportowców wykazało większą objętość płuc u sportowców uprawiających sporty wytrzymałościowe w porównaniu z tymi uprawiającymi sporty siłowe i zespołowe (Lazovic-Popovic i wsp., 2015).

Dostępne piśmiennictwo wskazuje, iż pływacy mają zwiększoną pojemność oddechową związaną z podwyższoną pojemnością płuc oraz zwiększoną zdolnością dyfuzyjną płuc w porównaniu z niewytrenowanymi rówieśnikami z uwzględnieniem tożsamego wieku, płci i stanu zdrowia oraz z rówieśnikami trenującymi inne dyscypliny sportowe. Jako przyczynę takiego stanu podaje się predyspozycje genetyczne oraz warunki środowiskowe. Środowisko wodne wymaga od sportowca ograniczonego oddychania,

pokonywania oporów wody oraz wymuszonej, specyficznej pozycji pływackich (Aspenes i Karlsen, 2012).

Mechanizmy, które mogłyby wyjaśniać zwiększenie pojemności płuc w wyniku długotrwałego treningu pływackiego nie są do końca wyjaśnione. Istnieje kilka hipotez próbujących wyjaśnić te zmienności. Jedna z nich sugeruje, że zwiększona siła mięśni oddechowych pomaga w bardziej efektywnym napełnianiu i opróżnianiu płuc, ponieważ niektóre objętości płuc prawdopodobnie zależą od wydajności tych mięśni. Pływanie powoduje zaangażowanie dodatkowych mięśni szkieletowych szyi i klatki piersiowej, co może pomóc w rozszerzeniu ściany klatki piersiowej w celu uzyskania dużej objętości płuc (Rochat i wsp., 2022). Inne hipotezy sugerują, że trening pływacki wywołuje adaptacyjnie większą pracę powierzchni płuc i klatki piersiowej niż programy treningowe wykonywane na lądzie. Taka adaptacja może być efektem specyficznych ograniczeń środowiskowych oddziaływujących na układ płucny. Podstawę takiego oddziaływania stanowi pięć punktów określanych jako stresory wodne: oddychanie pod ciśnieniem i przedłużone wydychanie w wodzie, ograniczony wzorzec oddychania i zmienione napięcie gazów w pęcherzykach płucnych, powtarzająca się ekspansja płuc do poziomu całkowitej objętości płuc (TLC), pozycja leżenia na brzuchu, intensywne programy treningowe we wczesnym dzieciństwie (Cordain i Stager, 1988). Inna hipoteza jest związana z faktem, że wzorzec oddychania wyczynowego pływaka jest bardziej podyktowany ograniczeniami biomechanicznymi niż potrzebami fizjologicznymi. Wdech staje się szybkim wymuszonym manewrem, a wydech, również występujący w wodzie, jest ograniczony i kontrolowany. W konsekwencji wentylacja minutowa jest zmniejszona, a płuca pływaków muszą pomieścić duże gradienty ciśnienia parcjalnego CO<sub>2</sub> i ciśnienia parcjalnego O<sub>2</sub>. Przekłada się to na zwiększoną pojemność dyfuzyjną płuc (Yost i wsp., 1981). Wysokie zdolności adaptacyjne zdrowych płuc i silniejsza reakcja młodszych osób na bodźce stymulujące do wzrostu mogą być silnymi wskaźnikami dodatniego efektu wczesnego treningu pływackiego, wyjaśniającym większą pojemność oddechową pływaków (Rochat i wsp., 2022).



## I.2 Znaczenie zmęczenia mięśni oddechowych

Ciśnienie generowane podczas ćwiczeń przez mięśnie oddechowe musi pokonać oporowe, bezwładnościowe i lepkością właściwości układu oddechowego. Wraz ze wzrostem intensywności ćwiczeń, minutowa wentylacja wzrasta zgodnie z tempem metabolizmu. Na szczycie wdechu, objętość oddechowa (VT) rzadko przekracza 60% pojemności życiowej, pozostawiając znaczną rezerwę wentylacyjną. Przejście od spoczynku do szczytowego poziomu wysiłku wymaga odpowiedniego wzorca rekrutacji mięśni oddechowych, który optymalizuje podatność płuc i ściany klatki piersiowej w celu stłumienia duszności i zminimalizowania pracy oddechowej. Taka optymalizacja jest zgodna z zasadą „minimalnego wysiłku”. Pomimo doskonałych właściwości wytrzymałościowych, mięśnie oddechowe są podatne na zmęczenie, gdy zapotrzebowanie na energię podczas ćwiczeń przewyższa podaż (Welch i wsp., 2019).

Podczas intensywnej aktywności fizycznej na poziomie 85%  $VO_{2max}$  może dochodzić do zmęczenia mięśni oddechowych (Taylor i wsp., 2006; Verges i wsp., 2006). Dostępne piśmiennictwo wykazało, że rozwój zmęczenia postępuje i wiąże się z kumulacją pracy oddechowej (Archiza i wsp., 2018). Zgodnie z tym założeniem manipulowanie pracą oddechową za pomocą trenerów lub proporcjonalnie wspomaganą wentylacją zmienia intensywność zmęczenia wysiłkowego przepływu proporcjonalnie do zmiany pracy oddechowej (Babcock i wsp., 2002).

Zarówno wdechowe (Welch i wsp., 2018), jak i wydechowe (Taylor i Romer, 2008) zmęczenie mięśni osłabia zdolność wysiłkową poprzez zwiększone odczuwanie duszności. W wyniku zmniejszonego dostarczenia  $O_2$  do aktywnych mięśni kończyny dolnych może dochodzić do przyspieszonego zmęczenia mięśnia czworogłowego i przedwczesnego zakończenia wykonywania danej aktywności fizycznej. Wywoływanie zmęczenia mięśni wdechowych przed ćwiczeniami całego ciała powoduje 15% zmniejszenie tolerancji wysiłku, niezależnie od płci (Romer i wsp., 2006).

Dostępne piśmiennictwo wskazuje, że podczas długotrwałych ćwiczeń fizycznych o wysokiej intensywności dochodzi do zmniejszenia wydajności pracy mięśni obwodowych wskutek zwiększonej pracy mięśni oddechowych i występującej duszności.

Co w konsekwencji może przyczynić się do zmęczenia mięśni oddechowych i obniżenia globalnej wydajności (Wells i Norris, 2009).

Zmęczenie mięśni (MF) zmniejsza ich zdolność do wykonania zadania w określonym czasie przy stałym obciążeniu. MF jest zwykle krótkotrwałe, odwracalne i odczuwane jako uczucie zmęczenia lub braku energii. Główne przyczyny krótkotrwałego zmęczenia są związane z przetrenowaniem, niedotrenowaniem/dekondycją lub urazem fizycznym (Constantin-Teodosiu i Constantin, 2021). Muranaka i wsp.(2021) podjęli się próby wyjaśnienia wpływu preindukowanego zmęczenia mięśni wdechowych (IMF) na pływanie o wysokiej intensywności na dystansie 100-metrowym. IMF osiągnięto przez 10-minutowe oddychanie przy obciążeniu progowym ciśnienia wdechowego, generując 40% ich z góry określonego MIP (maksymalnego ciśnienia wdechowego). Po wywołaniu IMF czas pływania ( $55,94 \pm 1,15$  s) był znacznie wolniejszy w porównaniu z pływaniem kontrolnym bez IMF ( $54,09 \pm 0,91$  s) ( $p < 0,05$ ). Podczas pływania po wywołaniu IMF, w drugiej połowie 100-metrowej próby pływackiej zaobserwowano znaczne zmniejszenie częstości ruchów i znaczne zwiększenie długości ruchów. Ponadto poczucie duszności było istotnie wyższe w pływaniu w warunkach IMF niż w warunkach kontrolnych. Zmęczenie mięśni wdechowych może negatywnie wpływać na wydajność pływania o wysokiej intensywności. Przypuszcza się, że jest to wynikiem konieczności generowania pracy oddechowej w wyniku aktywacji dodatkowych mięśniach oddechowych. IMF wpływa na obniżenie zdolność pływaków do utrzymywania prędkości pływania.

Ponadto, zmniejszona funkcja oddechowa może obniżyć wydajność podczas wykonywania ćwiczeń o dużej intensywności w wyniku aktywacji mechanizmu metaborefleksu. Mechanizm w odpowiedzi na zmęczenie mięśni wdechowych i duszność powoduje wzrost przepływu krwi przez mięśnie oddechowe ze zmniejszeniem przepływu krwi do aktywnych mięśni obwodowych (Romer i Polkey, 2008). Dostępne piśmiennictwo wskazuje, iż zmęczenie przeponowe (DF) wywoływane przez metaborefleks, w którym pośredniczy układ współczulny, może skutkować zwiększeniem częstości akcji serca, ciśnienia tętniczego krwi i zwiększonego oporu naczyniowego kończyn. Osłabienie występowania metaborefleksu mięśni wdechowych może wpływać na poprawę hemodynamiki mięśni kończyn i mięśni oddechowych, co może finalnie wpływać na poprawę wydajności prowadzonego treningu sportowego (Welch, 2018). Dlatego

za zasadne uważa się stosowanie treningu IMT jako potencjalnej metody minimalizującej aktywację tego mechanizmu (Oueslatia i wsp., 2016). Jednocześnie większa odporność mięśni wdechowych przyczynia się do utrzymania stałego ukrwienia i perfuzji w ich obrębie, które bezpośrednio wpływają na redukcję metabolicznego zapotrzebowania tych mięśni, prowadząc do ich lepszej wydajności i funkcjonalności (Sales i wsp., 2016).

Hellyer i wsp. (2015) potwierdzają, że zmęczenie przepony powoduje zmniejszenie dostarczania tlenu do mięśni narządu ruchu, które wpływają na wydajność ćwiczeń (Hellyer i wsp., 2015). Segizbaeva i wsp. (2015) ocenili wpływ treningu mięśni wdechowych (IMT) na odporność na zmęczenie przepony (D), mięśnia mostkowo-obojęzyczkowo-sutkowego (SCM) i mięśni pochyłych (SC). Codzienny trening siły mięśni wdechowych był wykonywany przez 3 tygodnie, przy obciążeniu równym 60% maksymalnego ciśnienia wdechowego w pierwszym tygodniu, 70% MIP w drugim tygodniu i 80% MIP w trzecim tygodniu. Maksymalne ciśnienie wdechowe i analiza EMG posłużyły jako wskaźniki oceny zmęczenia mięśni wdechowych. U wszystkich badanych przed interwencją IMT zaobserwowano obniżony poziom MIP i częstotliwości środka ciężkości (fc) w widmie mocy EMG (D, PS, SCM i SC) przed-po wysiłku ( $P < 0,05$ ). Takich zmian nie zaobserwowano po zastosowaniu IMT. Badanie wykazało, że u zdrowych osób IMT powoduje znaczny wzrost MIP (+18%), opóźnienie zmęczenia mięśni wdechowych podczas wyczerpujących ćwiczeń oraz znaczną poprawę maksymalnej wydajności pracy. Według autorów IMT zwiększa odporność na rozwój zmęczenia mięśni wdechowych podczas ćwiczeń o wysokiej intensywności (Segizbaeva i wsp., 2015).

### **I.3 Trening mięśni wdechowych jako bodziec zmniejszający zmęczenie oddechowe**

Archiza i wsp. (2018) ocenili wpływ treningu mięśni wdechowych (IMT) na utlenowanie mięśni oddechowych i obwodowych podczas testu maksymalnej tolerancji wysiłku oraz zdolności powtarzanego sprintu (RSA) u zawodowych piłkarek nożnych. Osiemnastu sportowców zostało losowo przydzielonych do jednej z następujących grup: SHAM ( $n = 8$ ) lub IMT ( $n = 10$ ). Po maksymalnym przyrostowym teście wysiłkowym wszyscy uczestnicy wykonali test czasu do wyczerpania ( $T_{lim}$ ). Badacze zmierzli

utlenowanie mięśni obwodowych i oddechowych metodą spektroskopii w bliskiej podczerwieni, zmienne wentylacyjne i metaboliczne (oddech po oddechu) oraz stężenie mleczanów we krwi. Test RSA przeprowadzono na boisku trawiastym. Po 6-tygodniowej interwencji IMT wszyscy sportowcy przeszli powtórny ocenę. Obie grupy wykazały wzrost siły mięśni wdechowych, tolerancji wysiłku i wydajności RSA. Jedynie tylko grupa IMT wykazała niższe stężenie deoksyhemoglobiny i hemoglobiny całkowitej we krwi w mięśniach międzyżebrowych, jednocześnie ze zwiększonym stężeniem oksyhemoglobiny i hemoglobiny całkowitej we krwi w mięśniu obszernym bocznym podczas Tlim. Uzyskane wyniki mogą wskazywać na potencjalną rolę IMT w osłabieniu metaborefleksu mięśni wdechowych, a w konsekwencji poprawianiu dopływu tlenu i krwi do mięśni kończyn podczas ćwiczeń o wysokiej intensywności. Taki efekt może mieć potencjalny wpływ na siłę mięśni wdechowych, tolerancję wysiłku i wyniki uzyskiwane przez sportowców (Archiza i wsp., 2018).

Wśród kilku znanych metod treningowych ukierunkowanych na poprawę wydolności fizycznej, takich jak periodyzacja treningu, trening techniczny i taktyczny, trening mięśni wdechowych (IMT) znalazł zastosowanie w różnych dyscyplinach olimpijskich i paraolimpijskich (HajGhanbari i wsp., 2013). Chociaż jego wpływ na zwiększenie wydolności jest nadal dyskutowany, niektóre badania wskazują pozytywne korzyści w sposobie poruszania się na wózku inwalidzkim (Goosey-Tolfrey i wsp., 2010).

Niektóre badania wskazują, że w sportach o dużej intensywności, w których dochodzi do nadmiernego ruchu kończyn górnych i tułowia, przeciążenie mięśni oddechowych jest jeszcze większe w porównaniu z innymi dyscyplinami sportowymi (Hartz i wsp., 2015). Co ciekawe zmęczenie mięśni wdechowych może wpływać na pogorszenie kontroli pracy tułowia (Janssens i wsp., 2015), jak również może skutkować przeciążeniem kończyn górnych w wyniku zmęczenia mięśni oddechowych (Tiller i wsp., 2017).

Jak podaje piśmiennictwo, dołączenie treningu mięśni wdechowych do treningu sportowego sprzyja wzrostowi maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP). Jednocześnie istnieje związek stosowania tego treningu z poprawą wyników sportowych w testach czasowych (Nepomuceno Júniora i wsp. 2016).

Wpływ oporowego treningu mięśni oddechowych (RMT) na siłę i wytrzymałość mięśni wdechowych zależy od zastosowanego protokołu treningowego. Jednocześnie dostępne piśmiennictwo potwierdza, iż poprawa wyników sportowych po zastosowaniu RMT związana jest z: subiektywnym zmniejszeniem występowania duszności (RPB) lub subiektywnego odczucia wysiłku (RPE) oraz zmniejszenie zjawiska odruchu z ergoreceptorów (Hajghanbari i wsp. 2013). Ergoreceptory jako wolne zakończenia nerwowe pełnią rolę modulatorów hemodynamicznych, wentylacyjnych oraz autonomicznych podczas wysiłku. W wyniku nadmiernej aktywacji ergoreceptorów dochodzi do wzmożonej wentylacji oraz duszności imitującej kontynuowanie zadanej aktywności (Węgrzynowska-Teodorczyk i wsp., 2008).

Gething i wsp. (2004) ocenili związek między intensywnością treningu mięśni wdechowych a częstością akcji serca i subiektywną oceną odczuwanego wysiłku. W grupie, u której zastosowano maksymalny opór wdechowy uzyskano znaczne obniżenie częstości akcji serca i subiektywnego odczucia wysiłku pod koniec 5-minutowego stałego obciążenia podczas jazdy na rowerze. Badania potwierdziły, iż już 6 tygodniowy trening mięśni wdechowych jest wystarczający do poprawy siły mięśni wdechowych oraz może istotnie wpływać na obniżenie reakcji układu krążenia podczas zadanego wysiłku poprzez obniżenie częstości skurczów serca (Gething i wsp. 2004).

McConnell i Lomax (2003) ustalili, iż pojedyncze 200-metowe pływanie odpowiadające 90-95% tempa maksymalnego jest wystarczające do wywołania zmęczenia mięśni wdechowych (McConnell i Lomax, 2003). Kilding i wsp. (2010) uzyskali skrócenie czasu przepłynięcia 100m ( $p=0,05$ ) i 200m (0,032) po zastosowaniu treningu mięśni wdechowych. Jednocześnie w grupie eksperymentalnej uzyskali oni niższy poziom RPE (skala Borga RPE - *the 15-grade scale for ratings of perceived exertion*). W grupie kontrolnej nie zaobserwowali zmiany w tym zakresie (Kilding, 2010). Z kolei Volianitis i wsp. osiągnęli poprawę czasu wiosłowania na dystansie 5000 m. notując skrócenie czasu w grupie z treningiem mięśni wdechowych o  $36\pm 9$  s, a w grupie placebo o  $11\pm 8$ s ( $p < 0,05$ ) (Volianitis, 2001).

Shei i wsp. (2016) oceniali wpływ 12-tygodniowego treningu pływackiego wraz z dołączonym treningiem mięśni wdechowych na mięśnie oddechowe i funkcje układu oddechowego pływaków posiadających klasę sportową. W badaniu zastosowali podwójnie

ślepią próbę eksperymentalną w grupie równoległej, aby porównać efekty samego treningu pływackiego, treningu pływackiego z treningiem mięśni pozornie wdechowych oraz treningu pływania z treningiem mięśni wdechowych. Po 12-tygodniowym okresie treningu pływackiego z treningiem mięśni wdechowych wykazali oni poprawę maksymalnego ciśnienia wdechowego i maksymalnej wentylacji dowolnej (MVV). Ponadto, nie obserwowali poprawy czynności mięśni oddechowych tylko podczas treningu pływackiego lub treningu pływackiego z pozorowanym treningiem mięśni wdechowych (Shei i wsp., 2016).

Pozytywny wpływ treningu mięśni wdechowych obserwowano także w innych dyscyplinach sportowych. Hartz i wsp. (2018) zastosowali również 12-tygodniowy trening IMT u zawodników piłki ręcznej. Badacze uzyskali znaczącą poprawę: maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) i maksymalnej wentylacji dowolnej (MVV) w grupie eksperymentalnej. W grupie z placebo zaobserwowali oni tylko poprawę parametru MIP. Autorzy uznają zasadność dołączenia IMT do cyklu sportowego jako metody minimalizacji skutków zmęczenia oddechowego. Jednocześnie badacze twierdzą, iż stosowanie IMT u sportowców może przyczyniać się do poprawy wytrzymałości mięśni oddechowych i lepszej mechanicznej wydajności oddechowej (Hartz i wsp., 2018).

Piśmiennictwo wskazuje na możliwość wpływu IMT na stężenie mleczanu i równowagę kwasowo-zasadową. Takie badania prowadzili Brown i wsp. (2010), którzy ocenili wpływ obciążenia progiem wdechowym (ITL *inspiratory threshold loading*) i treningu mięśni wdechowych na stężenie mleczanu we krwi i równowagę kwasowo-zasadową po maksymalnym przyrostowym cyklu. Przed i po 6-tygodniowym treningu mięśni wdechowych (IMT) uczestnicy wykonali dwa maksymalne przyrostowe testy cykliczne, po których następowało 20 minut regeneracji z zastosowaniem obciążenia progowego wdechowego (ITL) lub z bierną regeneracją. Badacze zastosowali 6-tygodniowy trening IMT z oporem równym 50% maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP). Po całym cyklu treningowym uzyskali 34% wzrost MIP oraz zmniejszenie stężenia mleczanu. Wyniki te potwierdzają pogląd, że mięśnie wdechowe są zdolne do zmniejszenia poziomu stężenia mleczanu. Taki efekt może ułatwić wykonywanie kolejnych ćwiczeń o wysokiej intensywności. Jak podają autorzy, prawdopodobne mechanizmy wpływające na powrót do spoczynkowych wartości stężenia mleczanu po

zastosowaniu IMT są potencjalnie podobne do tych obserwowanych po treningu wytrzymałościowym całego ciała (Brown i wsp., 2010).

#### **I.4 Możliwości zastosowania treningu mięśni wdechowych u sportowców z niepełnosprawnościami**

W dostępnym piśmiennictwie można odnaleźć nieliczne prace dotyczące wykorzystania treningu mięśni wdechowych u osób z niepełnosprawnościami uprawiających sport zawodowy. Prace głównie dotyczą koszykarzy z uszkodzeniem rdzenia kręgowego poruszających się na wózkach inwalidzkich (Goosey-Tolfrey i wsp., 2010; Lyn i wsp., 2008).

Goosey-Tolfrey i wsp. (2010) oceniali wpływ treningu mięśni wdechowych (IMT) na funkcje oddechowe i powtarzające się sprinterskie właściwości napędowe u koszykarzy na wózkach inwalidzkich. Grupa eksperymentalna wykonywała 30 dynamicznych oddechów dwa razy dziennie przy oporze równoważnym 50% maksymalnemu ciśnieniu wdechowemu (MIP). Grupa placebo (sham-IMT) wykonywała 60 powolnych oddechów raz dziennie z 15% maksymalnym ciśnieniem wdechowym (MIP). Trening w obu grupach trwał 6 tygodni. W grupie IMT badacze uzyskali poprawę MIP. Jednocześnie nie stwierdzili oni istotnych zmian w zakresie powtarzalnego testu sprintu: czasu sprintu i powrotu wartości spoczynkowych, szczytowej częstości akcji serca i szczytowego stężenia mleczanu we krwi. Jednocześnie po zastosowanym treningu IMT uczestnicy badania zgłaszali „mniejszą duszność” i „mniejszy ucisk w klatce piersiowej” podczas treningu sportowego (Goosey-Tolfrey i wsp., 2010).

Lyn i wsp. (2008) ocenili wpływ oporowego treningu oddechowego (RRT) na przepływowym urządzeniu oddechowym (CRF) na funkcje oddechowe i siłę aerobową u sportowców poruszających się na wózkach inwalidzkich. Grupa RRT (eksperymentalna) wykonała 1 zestaw oddechów na urządzeniu CFR, 2 do 3 razy dziennie przez 10 tygodni. Badacze wykonali pomiar maksymalnej dobrowolnej wentylacji (MVV), maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) i wartości szczytowego zużycia tlenu ( $VO_{2peak}$ ). W grupie RRT uzyskali poprawę MIP o 33 cm H<sub>2</sub>O, natomiast w grupie kontrolnej poprawę o 0,6 cm H<sub>2</sub>O. Maksymalna dowolna wentylacja nieznacznie wzrosła w grupie RRT, a w grupie kontrolnej uległa zmniejszeniu. Jednocześnie badacze nie zaobserwowali znaczącej

różnicy między grupami w zakresie  $VO_{2peak}$ . Ponadto, wskazali oni, iż konieczne są dalsze badania oceniające wpływ tego typu treningów na inne zmienne sercowo-oddechowe sportowców z niepełnosprawnościami (Lyn i wsp., 2008).

W powszechnie omawianych metodach treningowych brakuje uzupełnienia wiedzy z zakresu efektywności i słuszności stosowania treningu mięśni wdechowych u sportowców z niepełnosprawnością. Aktualny stan wiedzy jest nadal ograniczony w obszarze oceny utrzymywania się efektów po zakończeniu treningu mięśni wdechowych. Prace badaczy bazują na zawężonej ocenie uzyskiwanych efektów bez kompleksowej weryfikacji zmian na poziomie układu oddechowego oraz parametrów wydolnościowych wśród sportowców z niepełnosprawnościami.

W dostępnym piśmiennictwie brakuje także potwierdzenia zasadności zastosowania treningu mięśni wdechowych jako metody uzupełniającej sportowy program treningowy, prowadzący do osiągnięcia jak najlepszych rezultatów sportowych zawodników z niepełnosprawnościami.



## **II CEL PRACY**

Celem prowadzonych badań była ocena wpływu treningu mięśni wdechowych o średniej intensywności dołączonego do standardowego treningu pływackiego na wentylację płuc, siłę mięśni wdechowych i poziom wytrzymałości tlenowej oraz stan wytrenowania zawodników z niepełnosprawnościami uprawiających pływanie.

## **III HIPOTEZY BADAWCZE**

Postawiono następującą hipotezę badawczą:

- Włączenie treningu mięśni wdechowych o średniej intensywności zwiększa wentylację płuc, siłę mięśni wdechowych i poziom wytrzymałości tlenowej oraz stan wytrenowania zawodników z niepełnosprawnością uprawiających pływanie.

W związku z przyjętą hipotezą postawiono następujące pytania badawcze:

- Czy trening mięśni wdechowych o średniej intensywności dołączony do typowego treningu pływackiego poprawia wentylację płuc i siłę mięśni wdechowych pływaków?
- Czy trening mięśni wdechowych o średniej intensywności dołączony do typowego treningu pływackiego zwiększy poziom wytrzymałości tlenowej zawodników?
- Czy dodatkowe włączenie IMT o średniej intensywności wygeneruje wyższy poziom wytrenowania w okresie startowym zawodników?
- Które z ocenianych parametrów mają największy udział w zmienności wyniku końcowego testu T-30?

## IV MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

### IV 1. Osoby badane

Badaniami objęto grupę 18 zawodników (mężczyzn) Polskiego Związku Sportu Niepełnosprawnych „Start”. Zawodnicy zostali zakwalifikowani do programu badawczego przez trenera kadry oraz kierownika eksperymentu badawczego na podstawie określonych kryteriów włączenia.

Na przeprowadzenie projektu badawczego uzyskano zgodę wydaną przez Komisję Etyki przy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w dniu 15.03.2019 r.

W celu zgromadzenia możliwie najbardziej jednorodnej grupy badanych, założono szereg kryteriów kwalifikujących (włączenia) i dyskwalifikujących (wyłączenia) zawodników do badań.

Za kryterium włączenia do badań przyjęto:

- przynależność do Kadry narodowej Polskiego Związku Sportu Niepełnosprawnych „Start”;
- zgoda badanego (w przypadku niepełnoletnich uczestników dodatkowa zgoda rodziców/opiekunów prawnych);
- wiek w przedziale 16-24 lat ( mężczyźni);
- dysfunkcja narządu *ruchu*, *klasa pływacka: S6-10, SB6-10, SM6-10*.

Wymienione skróty oznaczają: S- klasyfikacja w stylach dowolnym, grzbietowym, motylkowym; SB-klasyfikacja w stylu klasycznym; SM – klasyfikacja w stylu zmiennym, liczba: 1-10 określają zawodników z niepełnosprawnością z zakresu narządu ruchu.

Za kryterium wyłączenia z badań przyjęto:

- współistniejące choroby układu oddechowego powodujące znaczne zmniejszenie wydolności oddechowej;
- zaburzenia psychiczne *uniemożliwiające kontakt i współpracę z zawodnikiem*;
- stan po niedawnym uszkodzeniu  *błony bębenkowej*;

- stwierdzona astma oskrzelowa z obniżonym postrzeganiem objawów oraz z częstymi, ostrym nasileniem choroby.

Badani zostali podzieleni na 2 grupy, przydział do grup był randomizowany według tablicy rozkładu:

I grupa (grupa IMT) → zawodnicy trenujący wg standardowego modelu treningu pływackiego i dodatkowo z treningiem mięśni wdechowych o średniej intensywności na poziomie obciążenia 50% MIP ,

II grupa (grupa sham-IMT) → zawodnicy trenujący wg standardowego modelu treningu pływackiego i dodatkowo z treningiem mięśni wdechowych o niskiej intensywności na poziomie obciążenia 15% MIP, zgodnie z piśmiennictwem wskazującym na konieczność zastosowania minimalnego obciążenia w grupie kontrolnej, spełniającego wymogi czasowe stosowanych treningów w obu grupach (Goosey-Tolfrey i wsp., 2010).

U wszystkich badanych zastosowano ośmiotygodniowy trening mięśni wdechowych na osobistych urządzeniach PowerBreath KH1. Trening odbywał się w warunkach domowych cztery razy w tygodniu oraz jeden raz pod nadzorem trenera.

Trening pływacki prowadzony był pod kontrolą trenera kadry z uwzględnieniem stopnia i rodzaju dysfunkcji zawodników oraz ich poziomu sportowego.

## **IV 2. Metody**

U każdego zawodnika zostały przeprowadzone następujące badania:

- a) pomiar cech somatycznych: wysokość i masa ciała,
- b) badanie czynnościowe układu oddechowego,
- c) badanie maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) i wydechowego (MEP),
- d) badanie poziomu wytrenowania zawodników – test T-30,
- e) test schodkowy - test progresywny 8 x 100,
- f) Skala subiektywnego odczuwania wysiłku – Borg RPE scale.

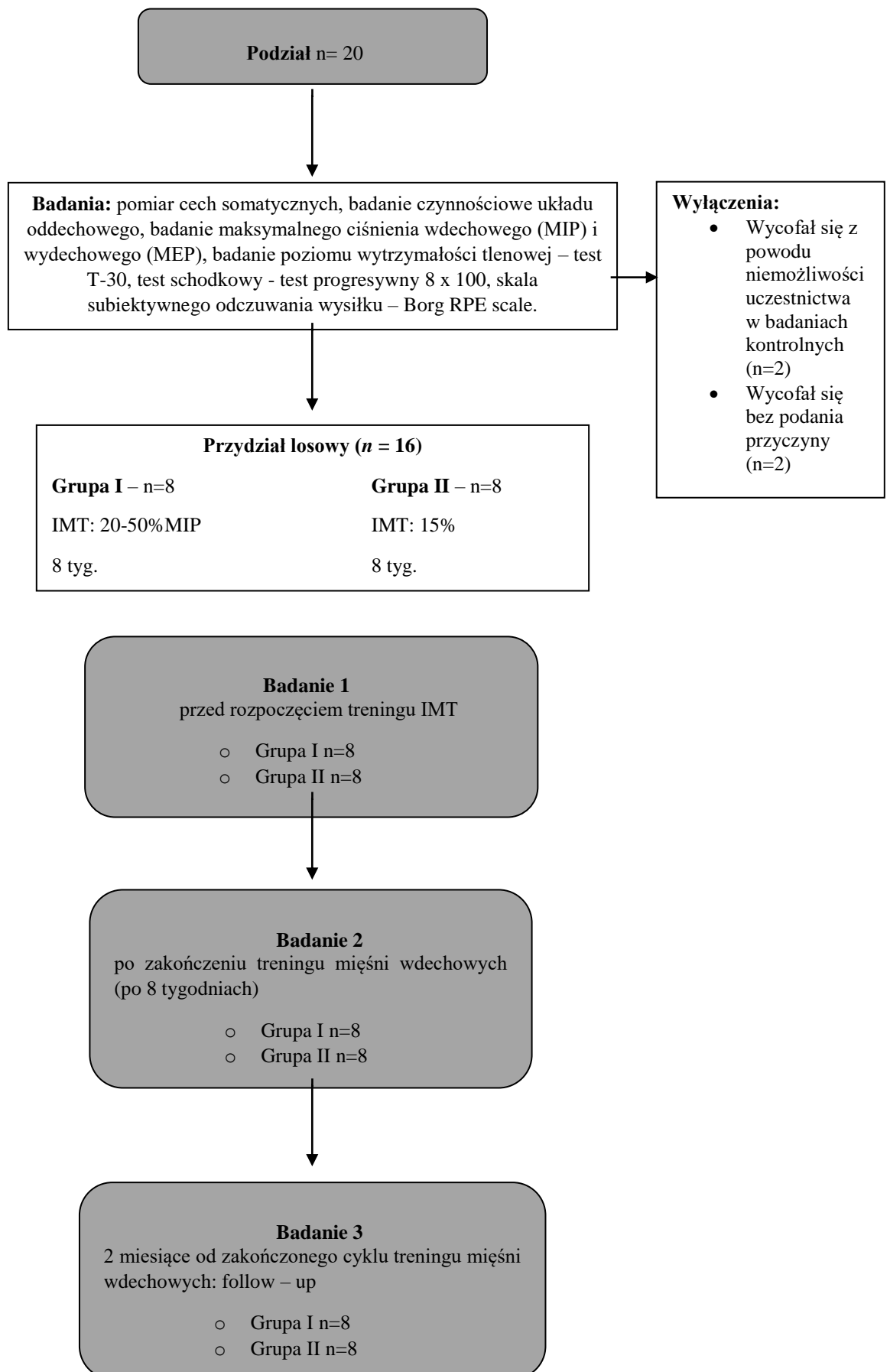
Szczegółowe dane antropometryczne i kliniczne dla obu grup przedstawiono w Tabeli 1 wraz z istotnością różnic między grupami (t – test t oraz test chi-kwadrat).

Wszystkie badania wykonano 3 krotnie: badanie I – przed rozpoczęciem treningu mięśni wdechowych, II – po zakończeniu treningu mięśni wdechowych (po 8 tygodniach), III – po głównych zawodach pływackich (po około 2 miesiącach od zakończonego cyklu treningu mięśni wdechowych: follow – up) (Rycina 1).

Tabela 1. Charakterystyka badanych grup

Cecha	Grupa I n=8	Grupa II n=8	t/ $\chi^2$	p
Wiek [lata]	16,75±2,66	17,88±4,39	-0,62	0,545 2
Masa ciała [kg]	61,75±11,18	61,38±13,71	0,06	0,953 0
Wysokość ciała [m]	1,77±0,09	1,69±0,09	1,62	0,127 8
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	19,68±1,76	21,24±3,39	-1,16	0,266 6
Doświadczenie sportowe [lata]	8±3	7±2	1,08	0,203 6
Osiągnięcia sportowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- medalista Pucharów Świata, medalista Mistrzostw Polski seniorów – n=7</li> <li>- finalista Igrzysk Paraolimpijskich w Tokio, 5 miejsce na Mistrzostwach Świata seniorów na 400m stylem dowolnym – n=1</li> <li>- uczestnik IP w</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- medalista Pucharów Świata, medalista Mistrzostw Polski seniorów – n=7</li> <li>- uczestnik Igrzysk Paraolimpijskich w Tokio, Medalista Pucharów Świata – n=1</li> <li>- uczestnik Mistrzostwa Europy seniorów w 2021 roku – n=1</li> </ul>	-	-

	Tokio – n=1	- uczestnik IP w Tokio – n=1		
Klasa pływacka	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S10 – n=5</li> <li>- S9 – n=3</li> <li>- SB10 – n=4</li> <li>- SB9 – n=2</li> <li>- SB8 – n=2</li> <li>- SM10 – n=5</li> <li>- SM9 – n=3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S10 – n=1</li> <li>- S9 – n=4</li> <li>- S8 – n=1</li> <li>- S7 – n=2</li> <li>- SB9 – n=3</li> <li>- SB8 – n=3</li> <li>- SB6 – n=2</li> <li>- SM10 – n=1</li> <li>- SM9 – n=4</li> <li>- SM8 – n=1</li> <li>- SM7 – n=2</li> </ul>	19,01	-
Rodzaj dysfunkcji	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amelia – wrodzony brak dłoni – n=1</li> <li>- hemiplegia – lekki – n=1</li> <li>- niedowład po jednej stronie ciała – n=1</li> <li>- wrodzony niedorozwój kończyn górnych, ograniczenie ruchomości w kończynach dolnych – n=1</li> <li>- ograniczenie ruchomości w kończynach górnych – n=2</li> <li>- ograniczenie ruchomości w kończynach dolnych – n=2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amelia – wrodzony brak kończyny na wysokości przedramienia n=3</li> <li>- MDP – diplegia kończyn dolnych – n=2</li> <li>- jednostronna amputacja ramienia – n=1</li> <li>- artrogrypoza obwodowa. Ograniczenie ruchomości w kończynach, deformacje kończyn – n=1</li> <li>- osłabienie mięśni kończyn dolnych – n=1</li> </ul>	3,279	-



Rycina 1. Projektowanie przebiegu eksperymentu (opracowanie własne)

#### **Ad. IV 2b.**

Do badania czynnościowego układu oddechowego oraz siły mięśni wdechowych i wydechowych wykorzystano aparat MasterScreen Pneumo firmy Jaeger. Do oceny siły mięśni oddechowych (MIPmax i MEPmax) użyto przystawki pneumatycznej do tachometru powyższego urządzenia.

W obu grupach w ramach oceny wentylacji płuc, wykonano pomiar krzywej przepływ/objętość (próba natężonego wydechu). Przeprowadzone badania spełniały kryteria American Thoracic Society i European Respiratory Society (ATS/ERS) oraz Polskiego Towarzystwa Chorób Płuc. Zgodnie z wytycznymi ATS/ERS próba natężonego wydechu wykonywana była trzykrotnie z 6 sekundowym czasem wydechu. Uznaje się, iż dwie z trzech wykonanych prób muszą być powtarzalne, a parametry FVC i FEV<sub>1</sub> nie różnią się więcej niż 5% (ATS/ERS, 2002; Miller i wsp., 2005).

Do analizy wykorzystano następujące parametry:

- Pojemność życiową płuc: wyrażoną w [l] i % wartości należnej - ang. Vital Capacity (VC);
- Natężoną pojemność życiową płuc: wyrażoną w [l] i % wartości należnej – ang. Forced Vital Capacity (FVC);
- Natężoną objętość wydechową pierwszosekundową: wyrażona w [l] i % wartości należnej – ang. Forced Expiratory Volume in one second (FEV<sub>1</sub>);
- tzw. wskaźnik *pseudo-Tiffeneau* – ang. Forced Expiratory Volume in one second % of Forced Vital Capacity (FEV<sub>1</sub>%FVC);
- Szczytowy przepływ wydechowy: wyrażony w [l/s] i % wartości należnej – ang. Peak Expiratory Flow (PEF);
- Maksymalny przepływ wydechowy przy 50% natężonej pojemności życiowej płuc: wyrażony w [l/s] i % wartości należnej – ang. Maximal Expiratory Flow 50% (MEF50).

Dokonano również pomiaru maksymalnej wentylacji dowolnej MVV (ang. Maximal Voluntary Ventilation). Jest to sumaryczna maksymalna wentylacja zmierzona w czasie 12 s i przeliczona na minutę. Wyrażona w jednostce [l/min] (Miller i wsp., 2005).

#### **Ad. IV 2c.**

Badanie maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego (MIP i MEP) jest powszechnie akceptowaną szybką, prostą i nieinwazyjną klinicznie metodą oceny siły mięśni oddechowych (Caruso i wsp. 2015; Hautmann i wsp. 2000).

Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem MasterScreen Pneumo firmy Jaeger oraz specjalnej przystawki pneumatycznej, zgodnie z wytycznymi ATS/ERS. Standardowa procedura narzuca wykonanie od 5 do 10 prawidłowych pomiarów. Akceptowalna różnica wynosiła poniżej 5% lub 5 cm H<sub>2</sub>O (ATS/ERS, 2002).

#### **Ad. IV 2d.**

Badanie poziomu wytrenowania zawodników (test T-30) zostało przeprowadzone przez trenera, pod jego ścisłą kontrolą. Przed rozpoczęciem testu zawodnicy wykonali 15-minutową rozgrzewkę na brzegu basenu oraz około 20 minutową rozgrzewkę w wodzie. Obie rozgrzewki przeprowadzone były według instrukcji trenera. Test T-30 polegał na przepłynięciu jak najdłuższej odległości w stylu dowolnym w czasie 30 minut (Deminice i wsp., 2005; Olbrecht i wsp., 2001).

Do analizy wykorzystano całkowity przepłynięty dystans (DST). Dla zapewnienia bezpieczeństwa zawodników zostali oni rozmieszczeni na indywidualnych torach. Po dziesięciu i dwunastu minutach testu uczestnicy zostali poinformowani o upływającym czasie za pomocą sygnału dźwiękowego. Ponadto podwójny sygnał dźwiękowy oznaczał zakończenie testu. Trener określił poszczególne pozycje pływaków za pomocą taśmy pomiarowej z dokładnością do 1 metra od ściany jednego ustalonego końca basenu (Deminice i wsp., 2005).

#### **Ad. IV 2e.**

Odpowiedzialność za koordynację i ścisłą kontrolę testu progresywnego należało do trenera zawodników. Do oceny stanu wytrenowania zawodników, wytrzymałości tlenowej oraz efektów zastosowanego treningu mięśni wdechowych zastosowany był test progresywny 8 x 100 stylem dowolnym lub pierwszym stylem zawodników.



Dobór prędkości pływania oraz procentowy rozkład intensywności zadanych odcinków 100-metrowych określono na pięciu wyznaczonych poziomach realizacji. Dobór dokonany był indywidualnie dla każdego zawodnika:

- I poziom – przepłynięcie 3-krotnego dystansu 100 m w czasie wyjściowym, tj. około 77% w stosunku do najlepszego rezultatu uzyskanego na zawodach w danym okresie treningowym. Wysilek na tym poziomie można potraktować jako rozgrzewkę i pobudzenie poszczególnych mechanizmów funkcjonalnych ustroju do dalszej pracy,
- II poziom - przepłynięcie 2 odcinków 100 m z intensywnością około 83% w odniesieniu do najlepszego wyniku,
- III poziom – przepłynięcie 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej,
- IV poziom – przepłynięcie 100 m z prędkością 93% prędkości maksymalnej,
- V poziom – przepłynięcie 100 m z maksymalną intensywnością.

Podczas testu przeprowadzono pomiar częstości akcji serca – HR [ud/min.] oraz stężenia kwasu mlekowego we krwi [mmol/l].

Pomiar HR przeprowadzony był w spoczynku oraz po przepłynięciu kolejnych odcinków 100 m (tj. trzy pomiary na poziomie 1, dwa pomiary na poziomie 2 i po jednym pomiarze na poziomach 3-5). Do oceny częstości akcji serca wykorzystano sport-testery firmy POLAR.

Ocenę stężenia kwasu mlekowego (La) wykonano urządzeniem Lactate Scout: przed rozpoczęciem testu oraz w przerwach wypoczynkowych między poszczególnymi poziomami w następującym układzie: bezpośrednio po przepłynięciu trzeciego odcinka 100 m, w 1 minucie po przepłynięciu piątego odcinka 100 m, w 3 minucie po przepłynięciu szóstego odcinka, w 1 i 3 minucie po przepłynięciu siódmego odcinka oraz 3, 6, 9 min. – kobiety i 4, 7, 10 min. – mężczyźni po przepłynięciu ostatniego odcinka 100 m. Czas trwania przerw wypoczynkowych pomiędzy poszczególnymi odcinkami na kolejnych poziomach wynosił 1 minutę, a między poszczególnymi poziomami odpowiednio między pierwszym a drugim i drugim a trzecim - 3 minuty, trzecim a czwartym – 5 minut, czwartym a piątym – 20 minut (Maglischo, 1993).

**Ad. IV 2f.**

Do oceny subiektywnego odczuwania wysiłku wykorzystano 15-stopniową skalę Borga – RPE (the 15-grade scale for ratings of perceived exertion), biorąca pod uwagę retrospektywną ocenę odczuwania wysiłku według skali po zakończeniu testu T-30. Jest to popularna skala wykorzystywana do oceny i monitorowania intensywności wysiłku (Borg, 1970).

Tabela 2. Skala Borga – RPE (Borg, 1970)

<b>Wartość skali punktowej</b>	<b>Charakterystyka odczuwanego zmęczenia</b>
<b>6</b>	W ogóle niezmęczony
<b>7</b>	Niezwykle lekko zmęczony
<b>8</b>	
<b>9</b>	Bardzo lekko zmęczony
<b>10</b>	
<b>11</b>	Lekko zmęczony
<b>12</b>	
<b>13</b>	Średnio ciężko zmęczony
<b>14</b>	
<b>15</b>	Ciężko zmęczony
<b>16</b>	
<b>17</b>	Bardzo ciężko zmęczony
<b>18</b>	
<b>19</b>	Niezwykle ciężko zmęczony
<b>20</b>	Maksymalne wyczerpanie

## **Program treningu mięśni wdechowych**

Trening mięśni wdechowych (IMT) został dołączony do codziennego cyklu treningowego zawodników. Trening IMT prowadzony był przez osiem tygodni za pomocą trenażera mięśni wdechowych (PowerBreathe KH1-Series). Trenażer posiada elektroniczny zmienny próg treningu oporowego. Dla ułatwienia wykonywanego treningu po wykonaniu każdego pełnego oddechu pojawia się sygnał dźwiękowy (jako rodzaj feedbacku). Jednocześnie dla zapewnienia pełnej higieny i bezpieczeństwa treningu każdy zawodnik otrzymał specjalny filtr oraz instruktaż oczyszczania sprzętu. Trening mięśni wdechowych prowadzony był 4 razy w tygodniu w warunkach domowych, a 1 raz pod nadzorem trenera. Zawodnicy z grupy I wykonywali trening IMT dwa razy dziennie (rano i wieczorem). Zawodnicy z grupy II wykonywali trening raz dziennie w godzinach porannych. W celu kontroli wykonywania treningu każdy uczestnik miał obowiązek wypełnić dzienniczek treningowy (Vašíčková i wsp., 2017).

Przed przystąpieniem do programu treningowego przeprowadzono zajęcia instruktażowe z zakresu prawidłowej techniki wykonywania ćwiczeń trenażerem PowerBreathe, zgodnie z zasadą prawidłowego oddechu.

Trening odbywał się w pozycji stojącej. Po wyznaczeniu indywidualnego obciążenia treningowego zawodnik zakładał klips na nos oraz szczelnie obejmował ustnik ustami. Zasady prawidłowego oddechu: Faza wdechowa – szybka i energiczna, wdech krótki i przeponowy; Faza wydechowa – spokojna i wolna, do uzyskania objętości zalegającej (RV). Każdy cykl oddechowy zaczynał się od poziomu RV (Klusiewicz, 2007). Każdy uczestnik wykonywał trening indywidualnie. Na podstawie zmierzonego maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) wyznaczono zawodnikom ich poziom obciążenia treningowego. Jednocześnie ze względu na skalę urządzenia PowerBreathe konieczne było przeliczenie otrzymanych pomiarów MIP (kPa) na jednostkę urządzenia (H<sub>2</sub>O). Przelicznik wynosi: 1kPa = 10,2 cm H<sub>2</sub>O.

Grupa I wykonywała 30 dynamicznych oddechów przy wartościach progowych maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) zgodnie z Tabelą 3. Ustalone obciążenia warunkują bezpieczeństwo prowadzonego treningu. Ponadto, sesje treningowe odbywały

się dwa razy dziennie (rano i po popołudniowych szkoleniach pływackich) (Tabela 3) (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002).

Zawodnicy z grupy II wykonywali 60 oddechów przy obciążeniu treningowym równym 15% MIP. Obciążenie było niezmiennie przez cały okres szkolenia (Tabela 4) (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002).

Tabela 3. Program treningu mięśni wdechowych dla grupy I (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002)

<b>Tydzień treningu</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Obciążenie treningowe (cm H<sub>2</sub>O)</b>	20% MIP	30% MIP	30% MIP	40% MIP	40% MIP	50% MIP	50% MIP	50% MIP
<b>Sesja treningowa [liczba oddechów]</b>	2x30	2x30	2x30	2x30	2x30	2x30	2x30	2x30

Tabela 4. Program treningu mięśni wdechowych dla grupy II (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002)

<b>Tydzień treningu</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Obciążenie treningowe [cm H<sub>2</sub>O]</b>	15% MIP							
<b>Czas sesji [liczba oddechów]</b>	60							

## **Trening pływacki**

Trening pływacki obejmował okres wczesnego sezonu konkurencyjnego, tj. fazy przygotowania ogólnego. Wszystkie treningi pływackie odbywały w 50-metrowych basenach. Zastosowany rozkład obciążeń treningowych obejmował średnią objętość treningu: około 5000 - 6000 m, z czego ok. 20% w strefie REC, 50% w strefie wytrzymałości podstawowej (EN1) i wytrzymałości progowej (EN2), 20% w strefie wytrzymałości przeciążeniowej (EN3) i około 10% na poziomie beztlenowym – produkcji laktatowej (SP1) i poziomie sprinterskim (SP2) (w zależności od jednostki treningowej). Ponadto, zawodnicy trenowali również na lądzie z programem treningowym nakierowanym głównie na wzmocnienie wszystkich grup (ćw. siłowe z wykorzystaniem taśm oporowych, z własnym obciążeniem, z obciążeniem partnera, ćwiczenia funkcjonalne, gibkościowe, koordynacyjne).

### **IV 3. Metody statystyczne**

Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej programem STATISTICA PL V.12.0. W podstawowych charakterystykach opisowych dla cech mierzalnych wyliczono średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe. Dla oceny jednorodności badanych grup zastosowana test t dla cech ilościowych oraz test zgodności chi – kwadrat dla cech jakościowych.

Analizę wyników rozpoczęto od sprawdzenia normalności rozkładu badanych parametrów we wszystkich grupach. Po sprawdzeniu normalności rozkładu testem Shapiro-Wilka, została podjęta decyzja o zastosowaniu analizy wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami i test post-hoc (NIR).

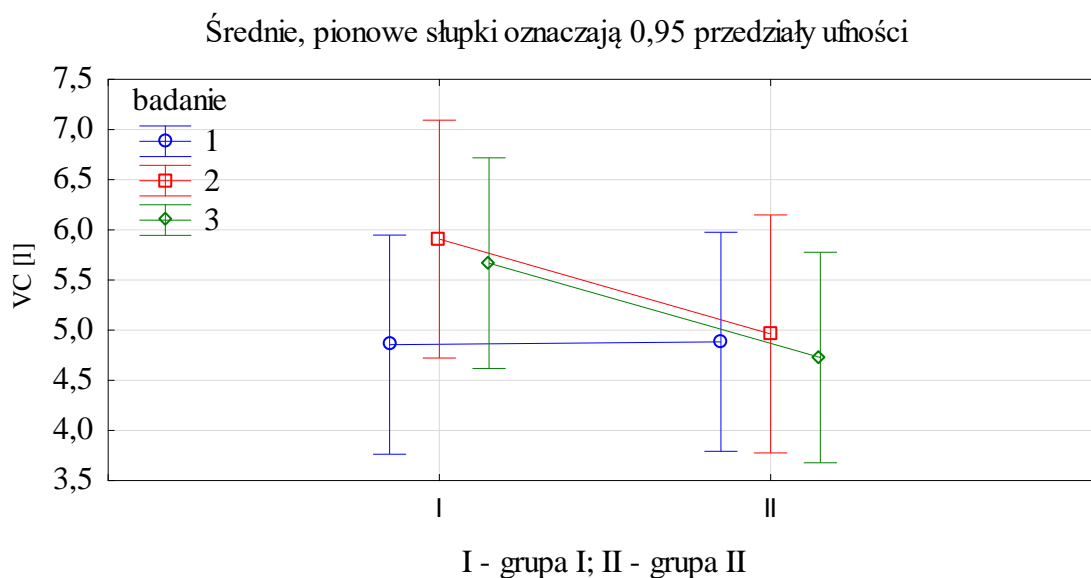
Do określenia wpływu zmiennych wyjaśniających na uzyskany wynik wydolności pływania mierzonej testem T-30 (zmienna wyjaśniana) posłużono się analizą regresji wielokrotnej (wielorakiej).

W zastosowanych testach statystycznych wartości testów i współczynników na poziomie  $p < 0,05$  przyjęto za statystycznie istotne i wyróżnione w pracy grubym drukiem (wyboldowane). Prezentacja danych została przygotowana w oparciu o tabele i wykresy.

## V WYNIKI

### VI 1. Badanie czynnościowe układu oddechowego

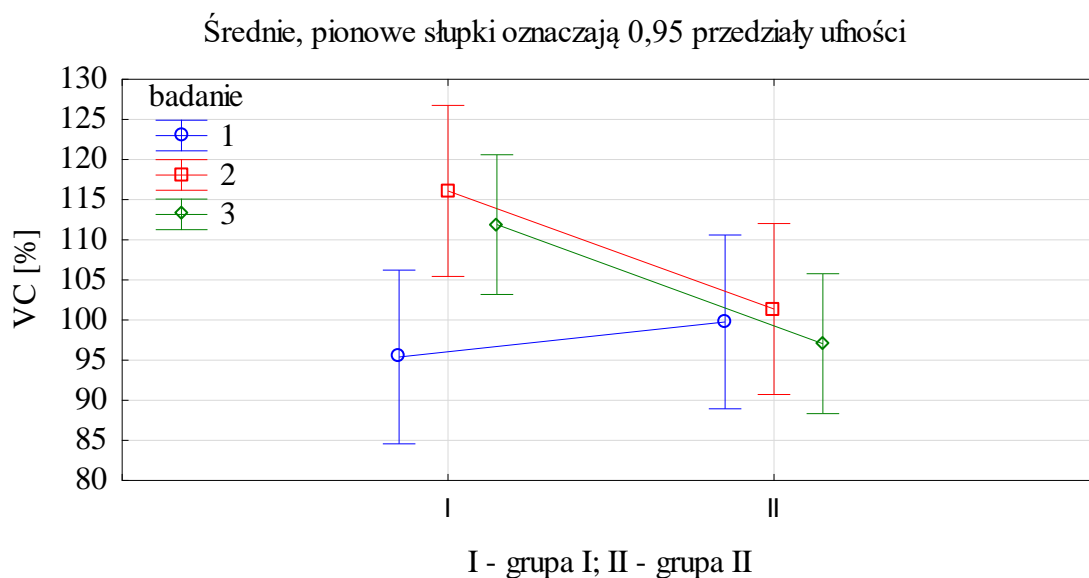
Analizę wyników badań rozpoczęto od oceny zmian parametrów czynnościowych układu oddechowego.



Rycina 2. Średnie wartości i odchylenia standardowe pojemności życiowej (VC) wyrażonej w litrach w badanych grupach

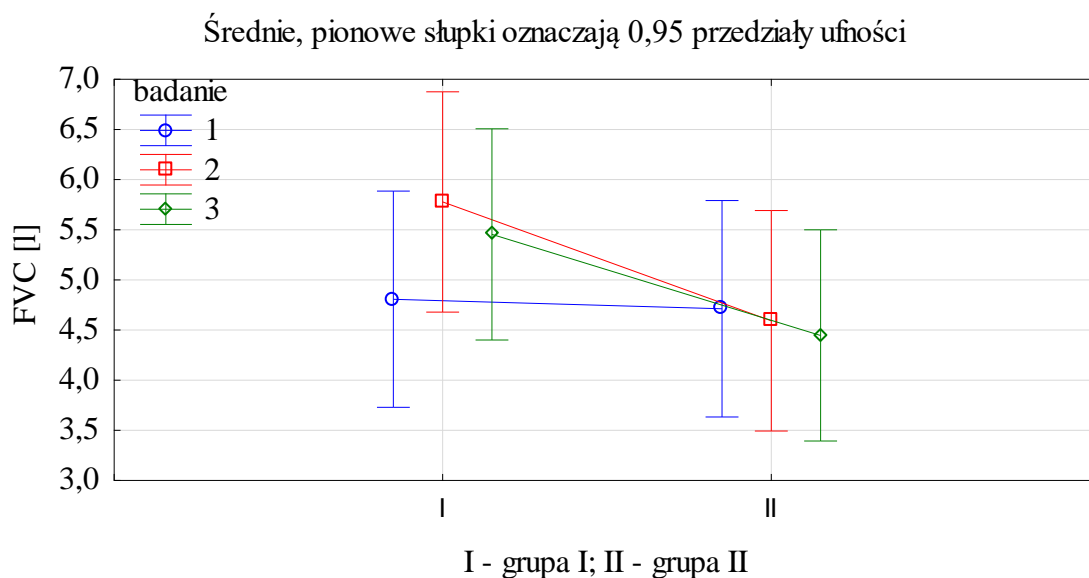
Na rycinie 2 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe pojemności życiowej płuc VC wyrażonej w litrach. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości VC tylko w grupie I po zastosowanym treningu mięśni wdechowych. Także w grupie I zaobserwowano utrzymanie się wyniku w trzecim badaniu (follow-up), który był istotnie wyższy w porównaniu do wyniku z badania 1.





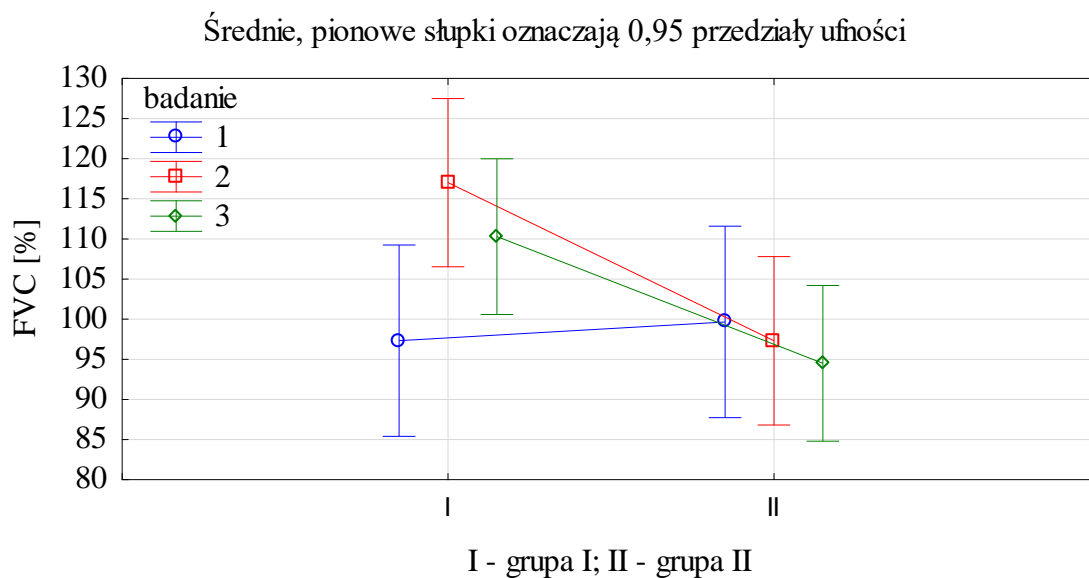
Rycina 3. Średnie wartości i odchylenia standardowe pojemności życiowej (VC) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 3 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru VC wyrażonego w % wartości należnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości VC % mierzonej w % wartości należnej tylko w grupie I po zastosowanym treningu oraz pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem. Jednocześnie analiza wykazała istotnie wyższy wynik parametru VC wyrażonego w % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I w porównaniu z wartością uzyskaną w badaniu 2 w grupie II. Badanie follow-up również wykazało utrzymanie się efektu treningu mięśni wdechowych.



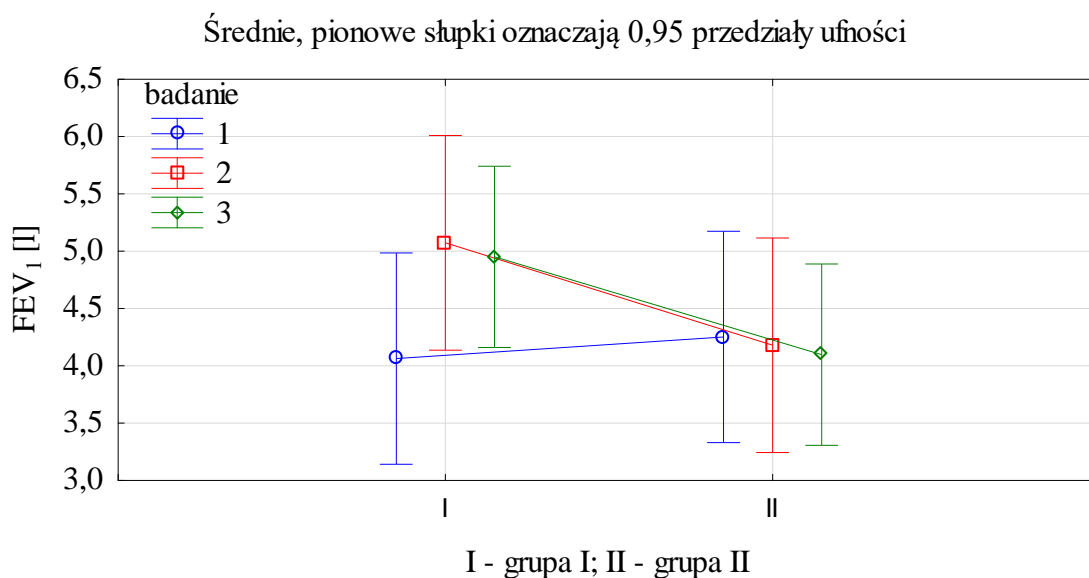
Rycina 4. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej pojemności życiowej (FVC) wyrażonej w litrach w badanych grupach

Na rycinie 4 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru FVC wyrażonego w litrach. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost jedynie wartości FVC mierzonej w litrach w grupie I po zastosowanym treningu IMT. W grupie I w trzecim badaniu (follow-up) uzyskano utrzymanie się wartości potreningowej, która była istotnie wyższa w porównaniu z pierwszym badaniem.



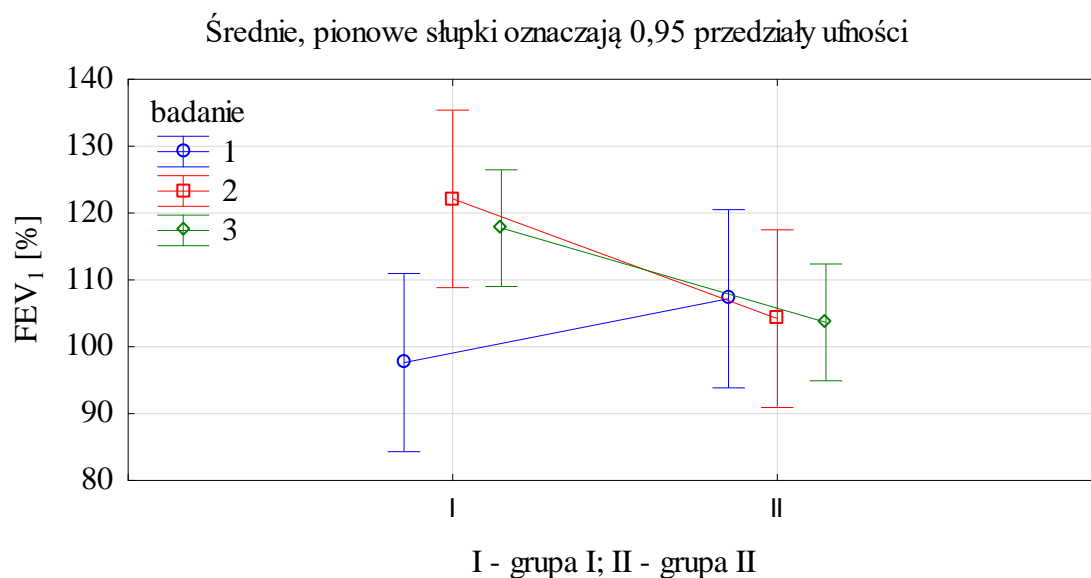
Rycina 5. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej pojemności życiowej (FVC) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 5 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru FVC wyrażonego w % wartości należnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości FVC % mierzonej w % w grupie I po zastosowanym treningu IMT oraz pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I. Ponadto analiza wykazała istotnie wyższy wynik parametru FVC wyrażony w % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I w porównaniu do badania 2 w grupie II.



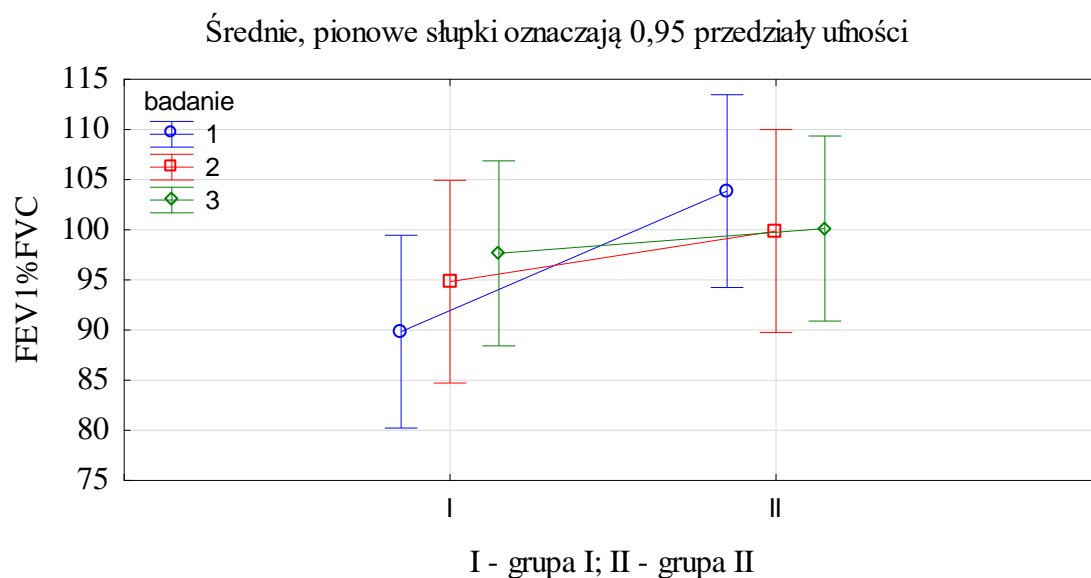
Rycina 6. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej ( $FEV_1$ ) wyrażonej w l w badanych grupach

Na rycinie 6 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru  $FEV_1$  wyrażonego w litrach. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości  $FEV_1$  mierzonej w l w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I oraz utrzymanie efektu follow-up.



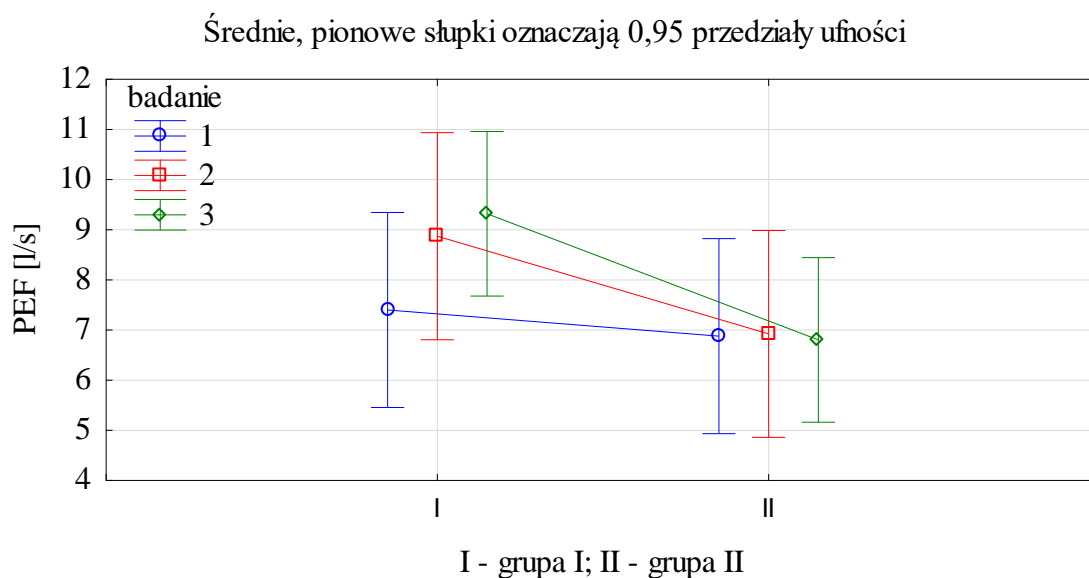
Rycina 7. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej ( $FEV_1$ ) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 7 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru  $FEV_1$  wyrażonego w % wartości należnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości  $FEV_1\%$  mierzonej w % w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Jednocześnie analiza wykazała istotnie wyższy uzyskany wynik parametru  $FEV_1$  wyrażonego w % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I niż w badaniu 2 w grupie II. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym pomiarem w grupie I a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



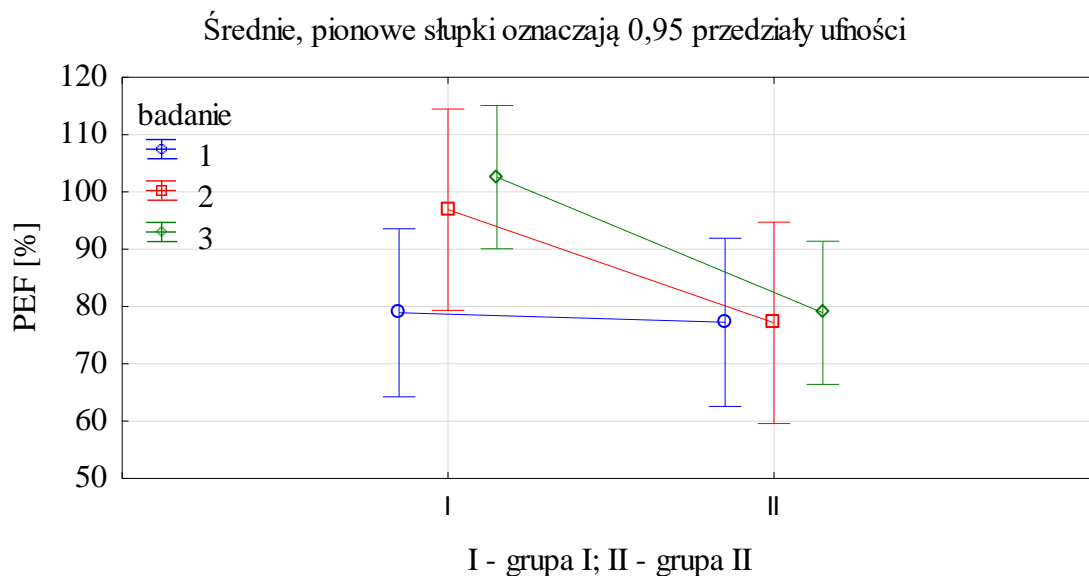
Rycina 8. Średnie wartości i odchylenia standardowe tzw. wskaźnik *pseudo - Tiffeneau* w badanych grupach

Na rycinie 8 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru  $FEV_1\%FVC$ . Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono wzrost wartości  $FEV_1\%FVC$  w grupie I i obniżenie tego parametru w grupie II, jednak bez istotnych statystycznie różnic. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym pomiarem a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.

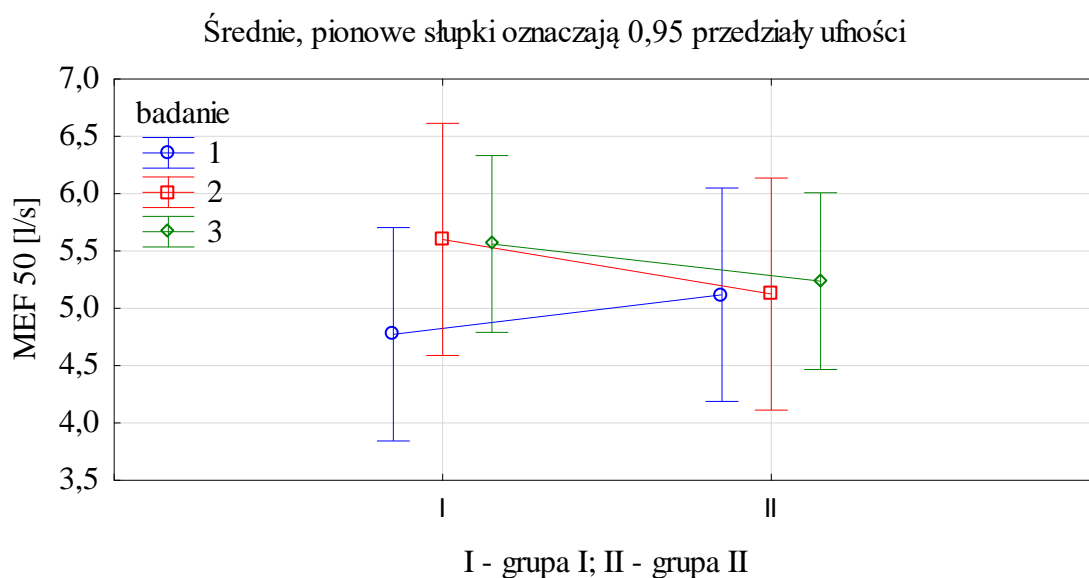


Rycina 9. Średnie wartości i odchylenia standardowe szczytowego przepływu wdechowego wyrażonego w l/s w badanych grupach

Na rycinie 9 i 10 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru PEF wyrażonego w (l/s) oraz % wartości należnych. Analiza wariancji (tabela 5) wykazała istotny wzrost wartości PEF zarówno mierzonej w l/s jak i w % wartości należnej w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Analiza statystyczna wykazała istotne różnice między pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



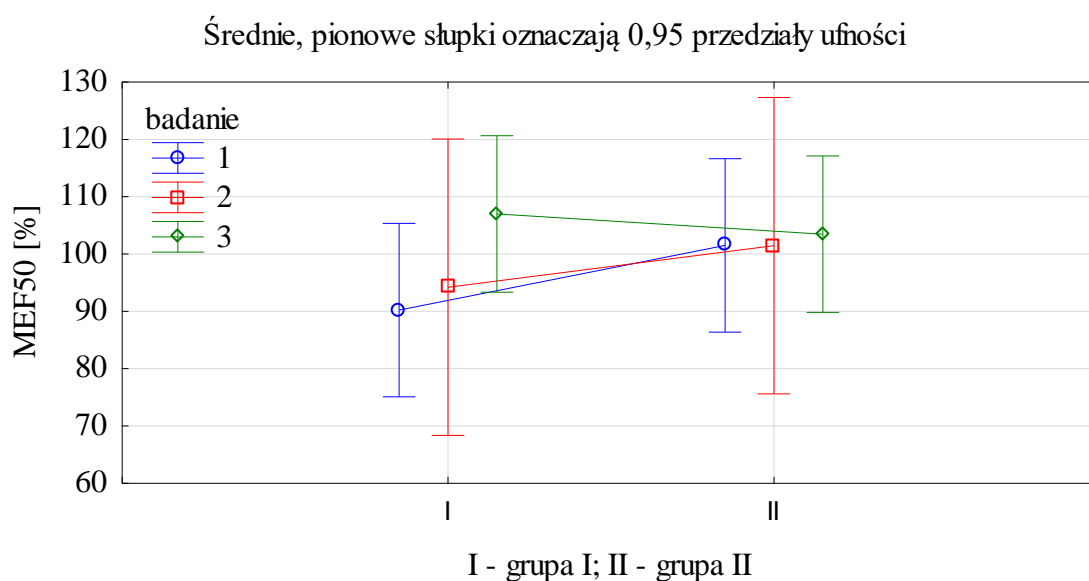
Rycina 10. Średnie wartości i odchylenia standardowe szczytowego przepływu wydechowego płuc wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach



Rycina 11. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego przepływu wydechowego przy 50% natężonej pojemności życiowej wyrażony w l/s w badanych grupach

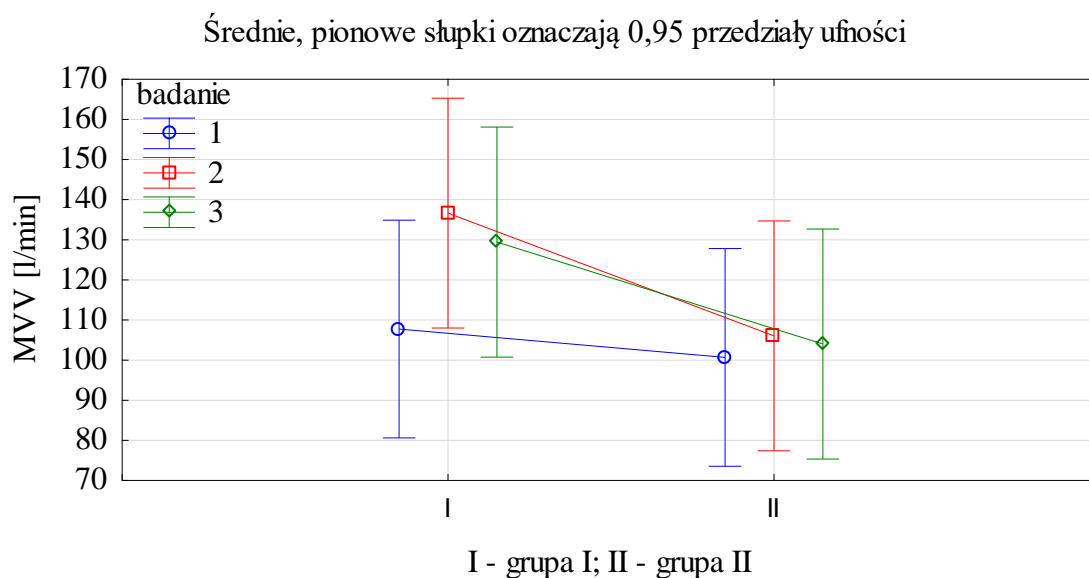


Na rycinie 11 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru MEF50 wyrażonego w l/s. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości MEF50 mierzonej w l/s w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice między pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



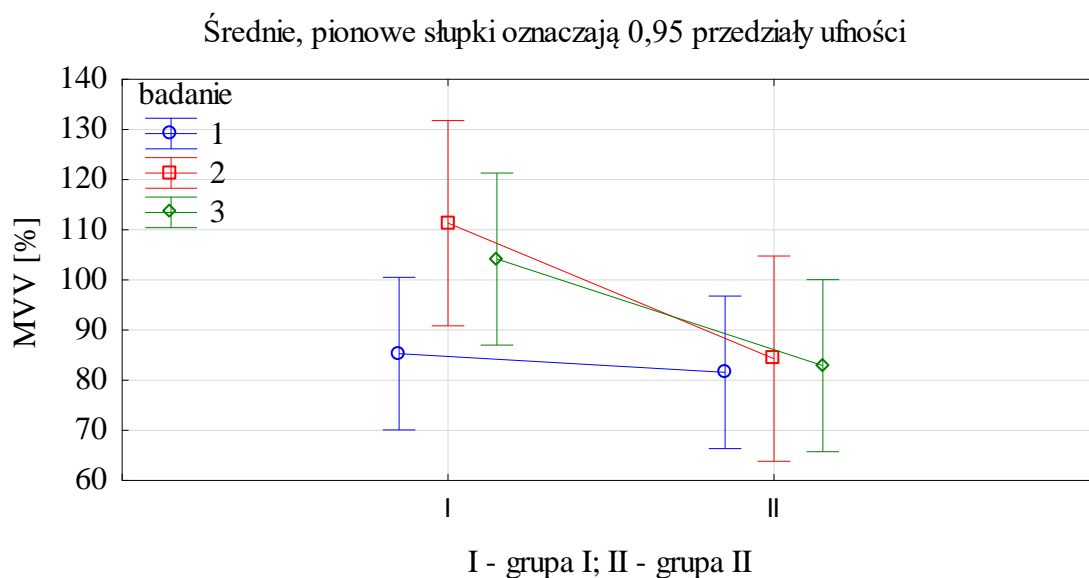
Rycina 12. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego przepływu wydechowego przy 50% natężonej pojemności życiowej wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 12 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru MEF50 wyrażonego w % wartości należnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono wzrost wartości w grupie I i II, jednak bez istotnych statystycznie różnic.



Rycina 13. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnej dowolnej wentylacji wyrażonej w l/min w badanych grupach

Na rycinie 13 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru MVV wyrażonego w l/min. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości MVV mierzonej w l/min w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



Rycina 14. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnej dowolnej wentylacji wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach

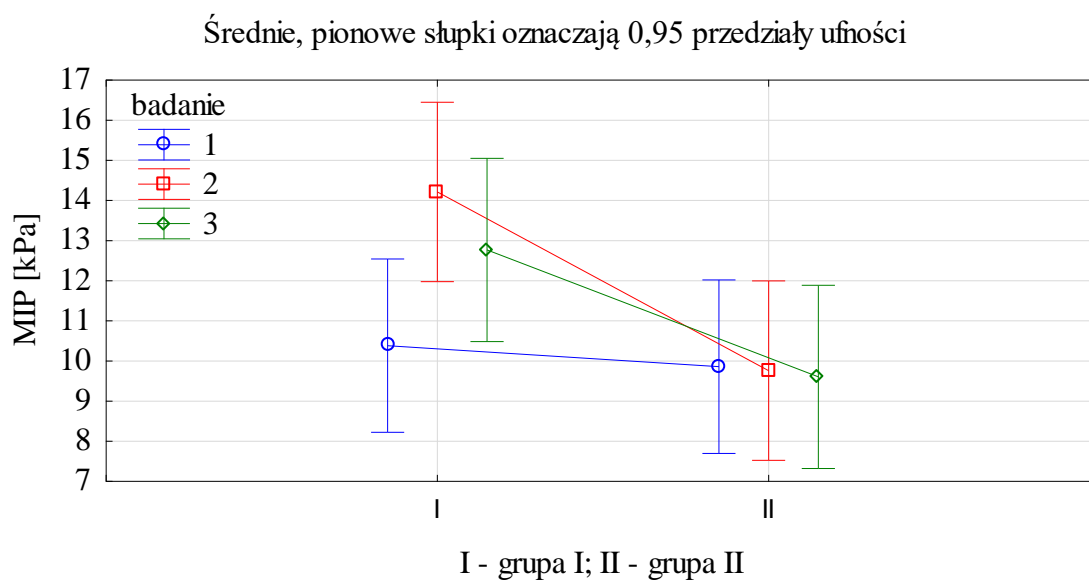
Na rycinie 14 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe parametru MVV wyrażonego w % wartości należnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 5) stwierdzono istotny wzrost wartości MVV mierzonej w % w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Jednocześnie analiza wykazała istotnie wyższy wynik parametru MVV mierzonego w % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I niż w badaniu 2 w grupie II. Analiza wariancji wykazała istotne różnice między pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu follow-up w trzecim badaniu.

Tabela 5. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów czynnościowych układu oddechowego. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR

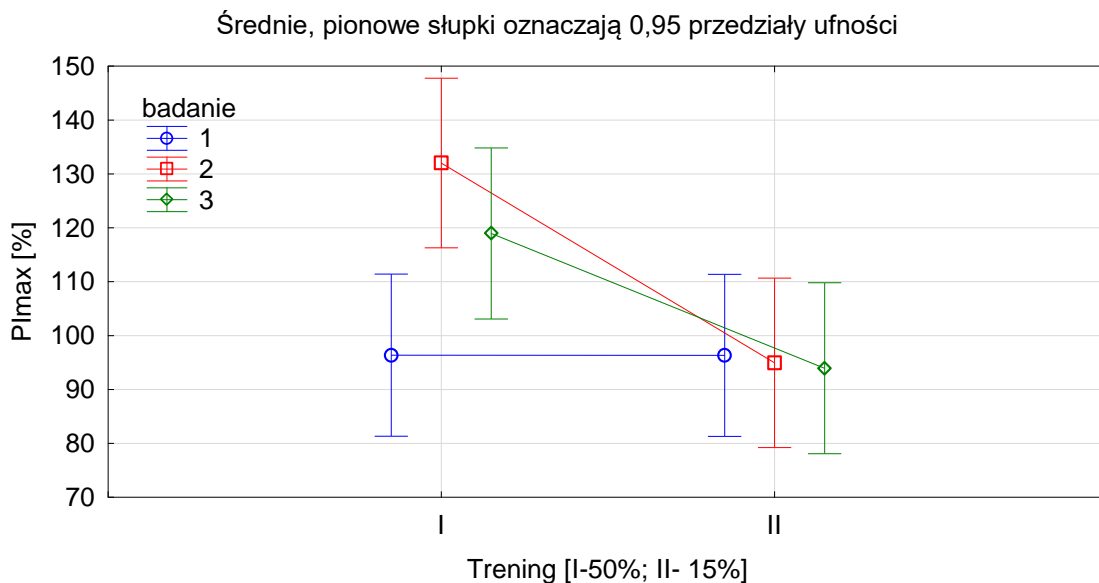
Zmienne	Badanie I-II w grupie I	Badanie I-II w grupie II	Badanie I-III w grupie I	Badanie I-III w grupie II	Badanie II-III w grupie I	Badanie II-III w grupie II	Badanie I w grupie I i badanie I w grupie II	Badanie II w grupie I i badanie II w grupie II	Badanie III w grupie I i badania III w grupie II
VC [l]	<b>0,0000</b>	0,7094	<b>0,0006</b>	0,4613	0,2609	0,2707	0,9692	0,2157	0,2180
VC [%]	<b>0,0000</b>	0,6952	<b>0,0003</b>	0,5078	0,3098	0,2952	0,5185	<b>0,0373</b>	<b>0,0358</b>
FVC [l]	<b>0,0001</b>	0,5810	<b>0,0055</b>	0,2256	0,1431	0,5017	0,8952	0,1148	0,1753
FVC [%]	<b>0,0001</b>	0,5839	<b>0,0049</b>	0,2349	0,1244	0,5148	0,7438	<b>0,0106</b>	<b>0,0359</b>
FEV <sub>1</sub> [l]	<b>0,0000</b>	0,7142	<b>0,0001</b>	0,4357	0,5370	0,6770	0,7506	0,1450	0,1627
FEV <sub>1</sub> [%]	<b>0,0000</b>	0,5496	<b>0,0003</b>	0,4794	0,3821	0,9122	0,2381	<b>0,0325</b>	0,0869
FEV <sub>1</sub> %FVC	0,1690	0,2704	<b>0,0355</b>	0,2998	0,4317	0,9463	<b>0,0388</b>	0,4361	0,7015
PEF [l/s]	<b>0,0038</b>	0,9258	<b>0,0003</b>	0,8732	0,3449	0,8006	0,6812	0,1366	0,0599
PEF [%]	<b>0,0054</b>	0,9888	<b>0,0005</b>	0,7829	0,3514	0,7721	0,8685	0,0586	<b>0,0257</b>
MEF50 [l/s]	<b>0,0094</b>	0,9833	<b>0,0129</b>	0,6918	0,8936	0,7072	0,5719	0,4369	0,5956
MEF50 [%]	0,6903	0,9968	0,1020	0,8445	0,2083	0,8414	0,3742	0,5666	0,7800
MVV [l/min]	<b>0,0000</b>	0,1820	<b>0,0000</b>	0,4027	0,0761	0,6079	0,7093	0,1203	0,1914
MVV [%]	<b>0,0000</b>	0,4949	<b>0,0000</b>	0,7410	0,0798	0,7233	0,7548	<b>0,0344</b>	<b>0,0876</b>

## VI 2. Badanie maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego

Analizę statystyczną rozpoczęto od oceny zmian parametru maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP).

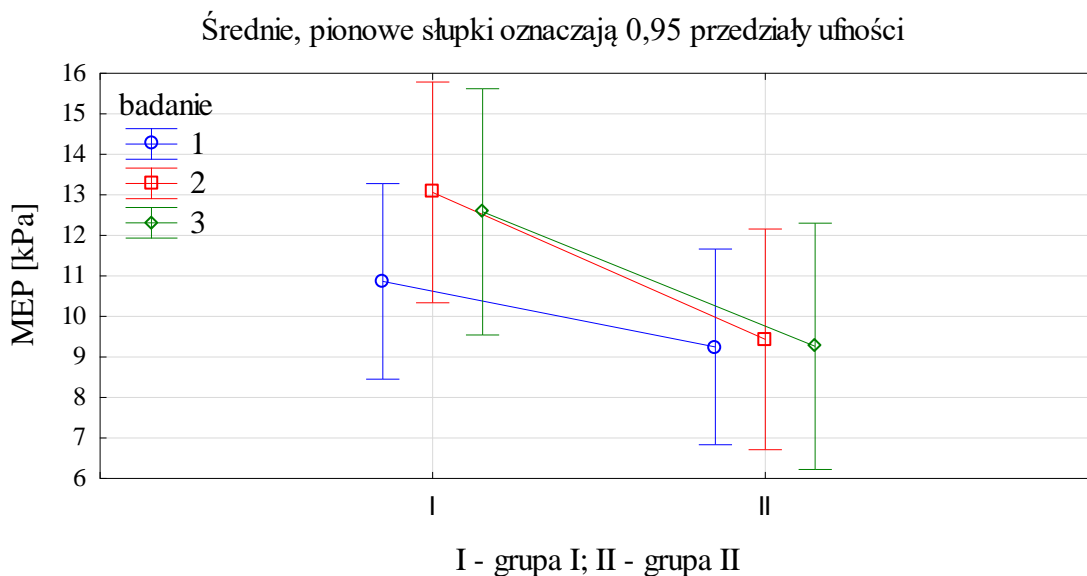


Rycina 15. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalne ciśnienia wdechowego wyrażonego w kPa w badanych grupach

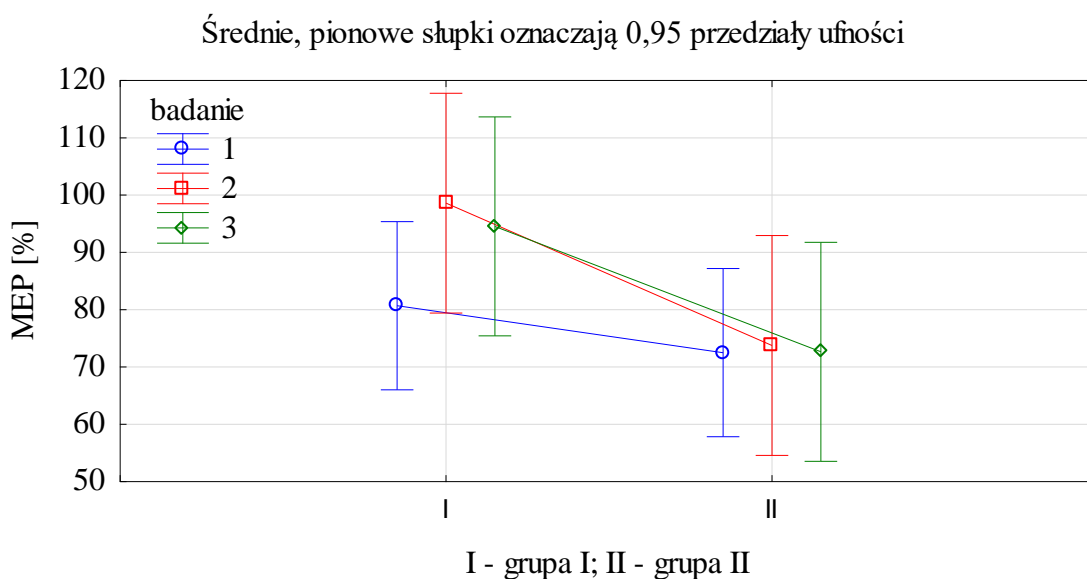


Rycina 16. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wdechowego wyrażonego w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 15 i 16 przedstawiono średnie wartości, i odchylenia standardowe parametru MIP wyrażonego w wartościach bezwzględnych (kPa) oraz % wartości należnych. Na podstawie analizy wariancji (tabela 6) stwierdzono istotny wzrost wartości MIP zarówno w kPa jak i w % wartości należnej w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotnie wyższy wynik parametru MIP w kPa i % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I niż w badaniu 2 w grupie II. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy drugim a trzecim pomiarem w grupie I.



Rycina 17. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wydechowego wyrażonego w kPa w badanych grupach



Rycina 18. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wydechowego wyrażonego w % wartości należnej w badanych grupach

Na rycinie 17 i 18 przedstawiono średnie wartości, i odchylenia standardowe parametru MEP wyrażonego w wartościach bezwzględnych (kPa) oraz % wartości

należnych. Na podstawie analizy wariancji (tabela 6) stwierdzono istotny wzrost wartości MEP zarówno mierzonej w kPa jak i w % wartości należnej w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Jednocześnie analiza wykazała istotnie wyższy wynik parametru MEP % wartości należnej w badaniu 2 w grupie I niż w badaniu 2 w grupie II. Analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.

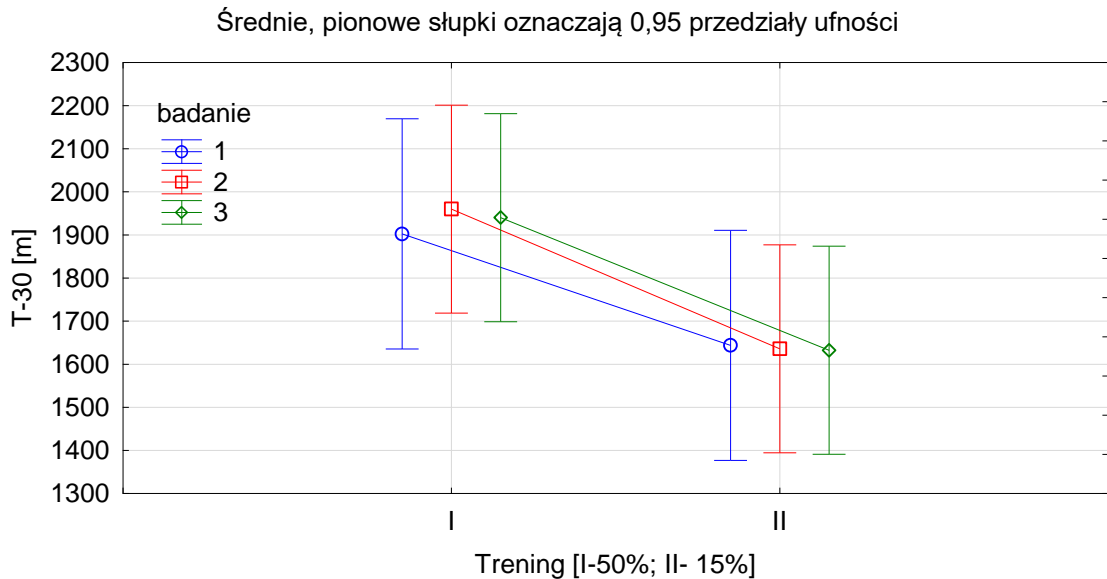


Tabela 6. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego. Analiza wariacji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR

Zmienne	Badanie I-II w grupie I	Badanie I-II w grupie II	Badanie I-III w grupie I	Badanie I-III w grupie II	Badanie II-III w grupie I	Badanie II-III w grupie II	Badanie II-III w grupie II	Badanie II w grupie I i badanie II w grupie II	Badanie III w grupie I i badania III w grupie II
MIP [kPa]	<b>0,0000</b>	0,8559	<b>0,0001</b>	0,6413	<b>0,0121</b>	0,7757	0,7258	<b>0,0076</b>	<b>0,0460</b>
MIP [%]	<b>0,0000</b>	0,7832	<b>0,0001</b>	0,6381	<b>0,0152</b>	0,8447	0,9985	<b>0,0018</b>	<b>0,0244</b>
MEP [kPa]	<b>0,0081</b>	0,8105	<b>0,0340</b>	0,9846	0,5388	0,8255	0,3816	0,0598	0,0825
MEP [%]	<b>0,0061</b>	0,8380	<b>0,0295</b>	0,9808	0,5067	0,8568	0,4930	<b>0,0466</b>	0,0765

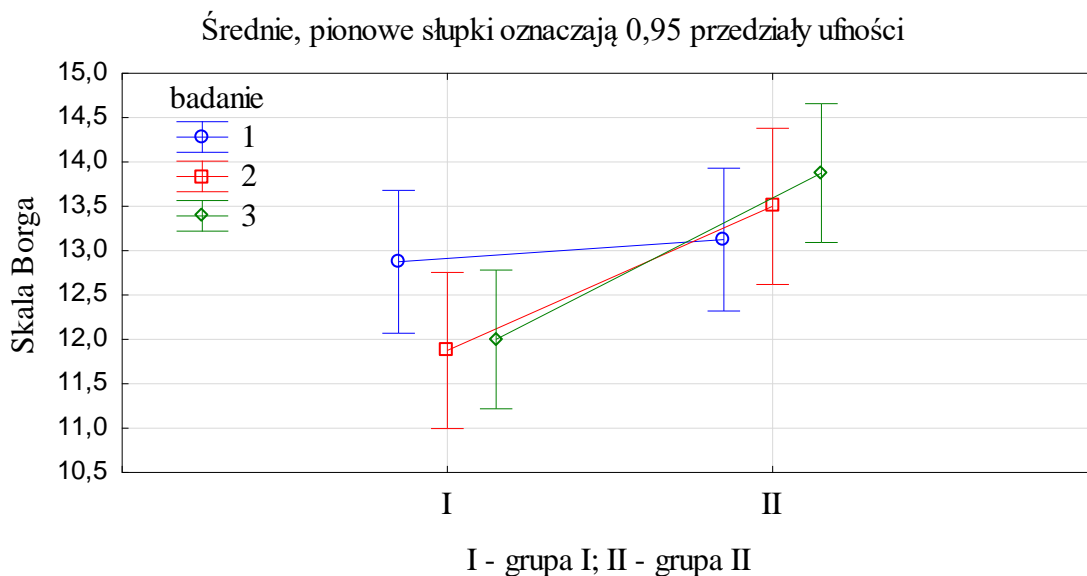
### VI 3. Badanie wybranych parametrów ocenianych podczas prób wydolnościowych

Analizę statystyczną rozpoczęto od oceny zmian dystansu przepłyniętego podczas badania poziomu wydolności - test T-30.



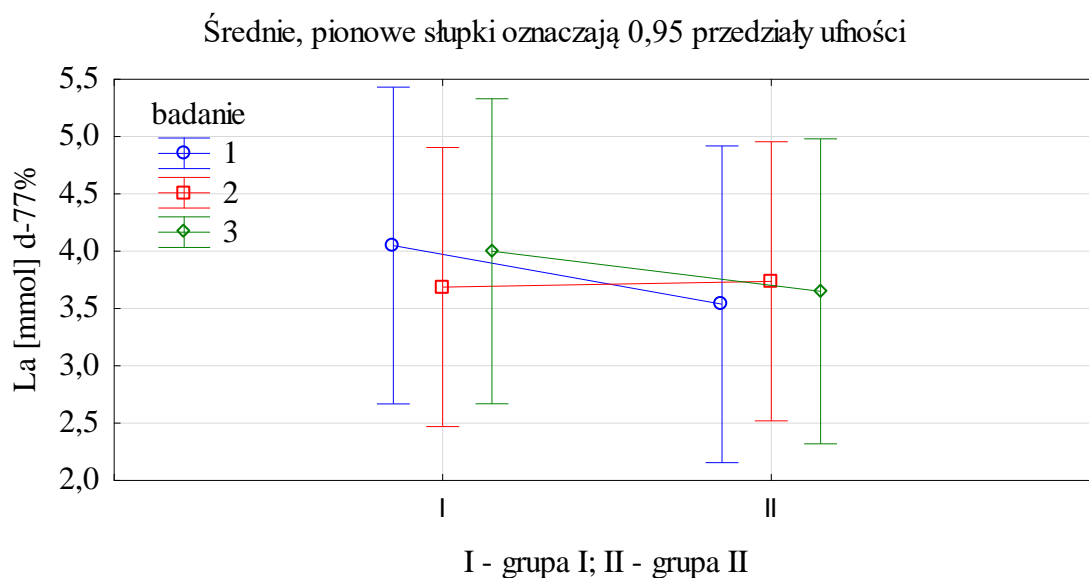
Rycina 19. Średnie wartości i odchylenia standardowe dystansu przepłyniętego podczas testu T-30 wyrażonego w metrach w badanych grupach

Na rycinie 19 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe przepłyniętego dystansu podczas testu T-30 wyrażonego w metrach. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotny wzrost dystansu przepłyniętego podczas testu T-30 tylko w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



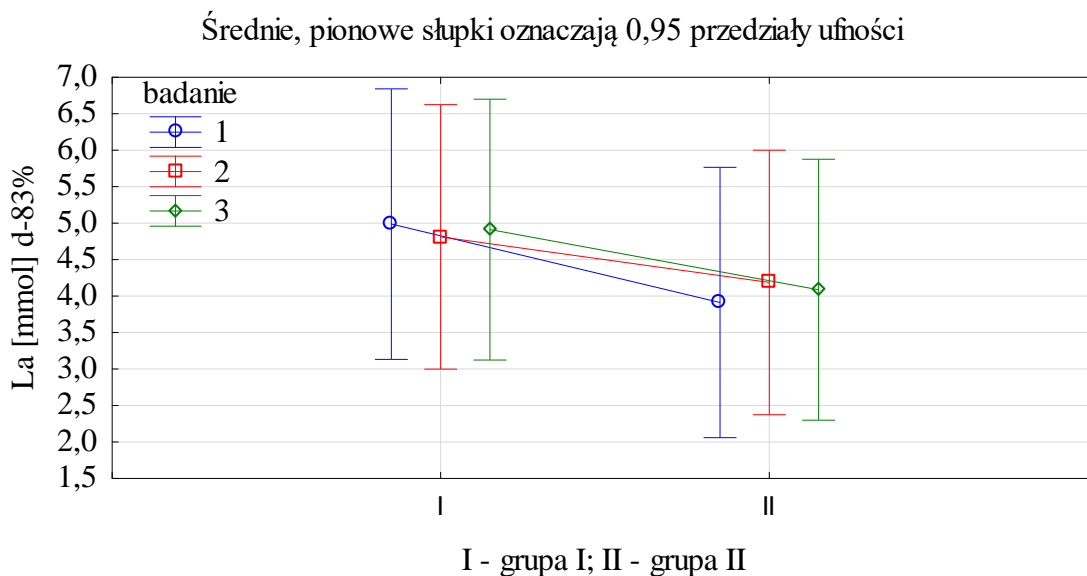
Rycina 20. Średnie wartości i odchylenia standardowe skali Borga w badanych grupach

Na rycinie 20 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe skali Borga. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie subiektywnego odczuwania ciężkości wysiłku ocenianego skalą Borga w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu follow-up. Jednocześnie zaobserwowano znaczące podwyższenie oceny odczuwania ciężkości wysiłku na podstawie skali Borga między pierwszy a trzecim badaniem w grupie II. Przeprowadzona analiza wykazała istotnie niższy wynik skali Borga w badaniu 2 w grupie I niż w badaniu 2 w grupie II.



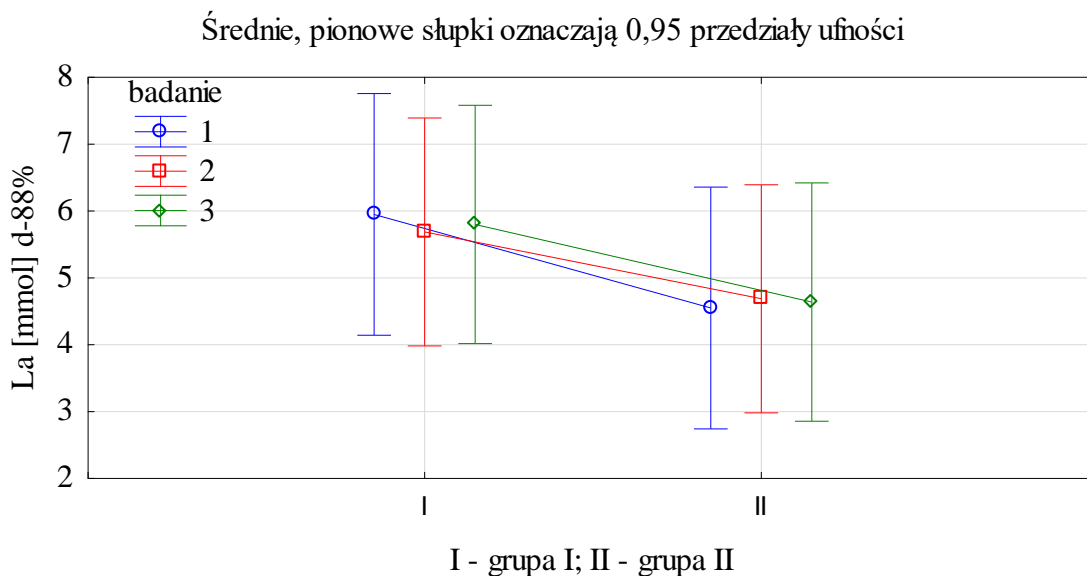
Rycina 21. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach

Na rycinie 21 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie stężenia kwasu mlekowego w grupie I po IMT. Natomiast w grupie II po 8 tygodniach zaobserwowano istotne statystycznie podwyższenie stężenia kwasu mlekowego w badanym przedziale.



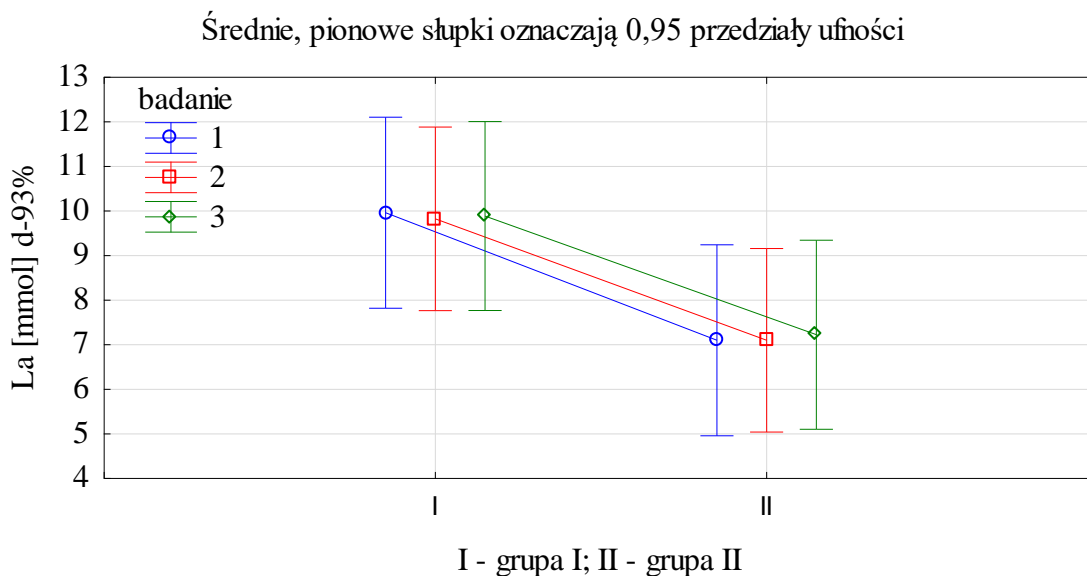
Rycina 22. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach

Rycina 22 przedstawia średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie stężenia kwasu mlekowego w grupie I po IMT. Natomiast w grupie II po 8 tygodniach zaobserwowano istotne podwyższenie stężenia kwasu mlekowego. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy pierwszym pomiarem a trzecim pomiarem w grupie II i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



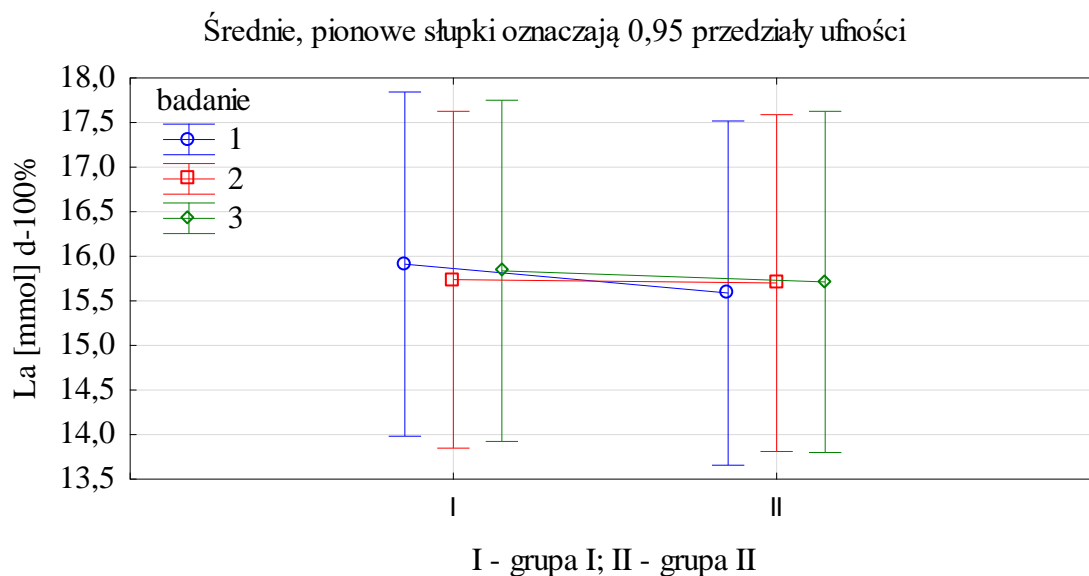
Rycina 23. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach

Na rycinie 23 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie stężenia kwasu mlekowego w grupie I po okresie treningowym. Natomiast w grupie II po 8 tygodniach zaobserwowano istotne statystycznie podwyższenie stężenia kwasu mlekowego w badanym przedziale prędkości. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



Rycina 24. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach

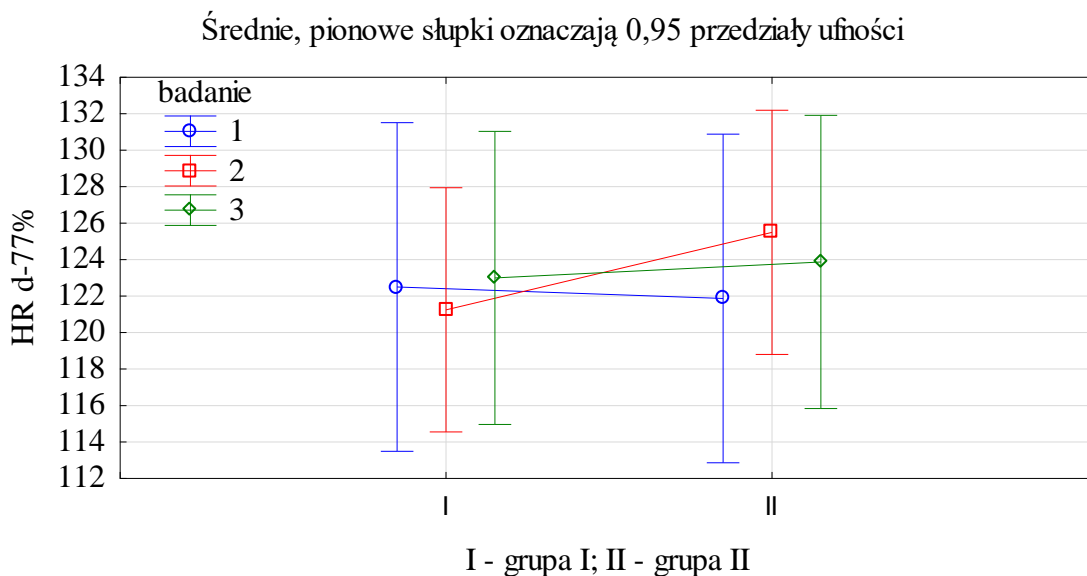
Na rycinie 24 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie stężenia kwasu mlekowego jedynie w grupie I po okresie treningowym.



Rycina 25. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością pływania wyrażonego w mmol w badanych grupach

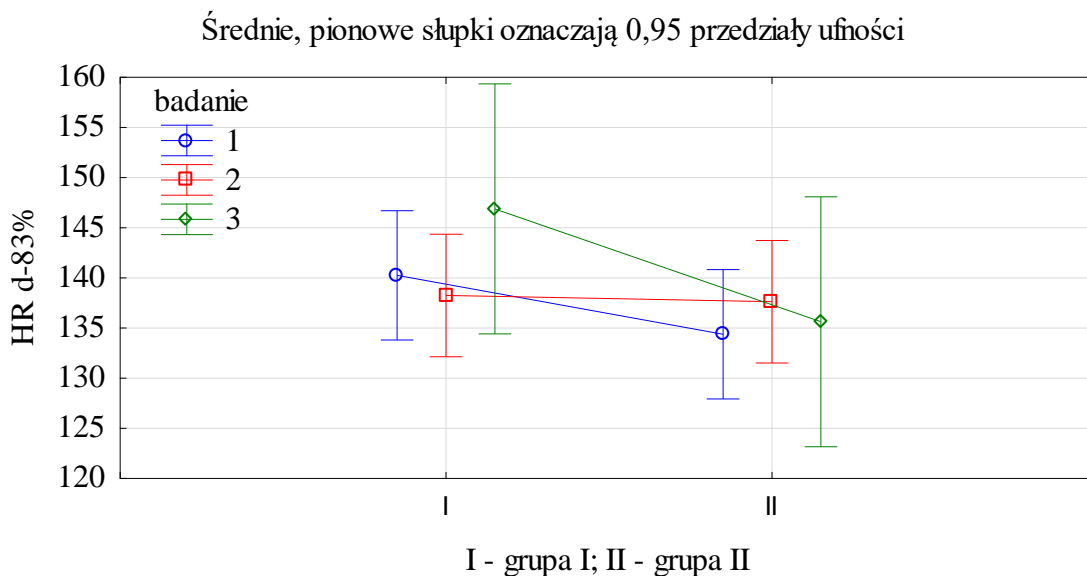
Na rycinie 25 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe stężenia kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością pływania wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne statystycznie obniżenie stężenia kwasu mlekowego jedynie w grupie I po okresie treningowym.





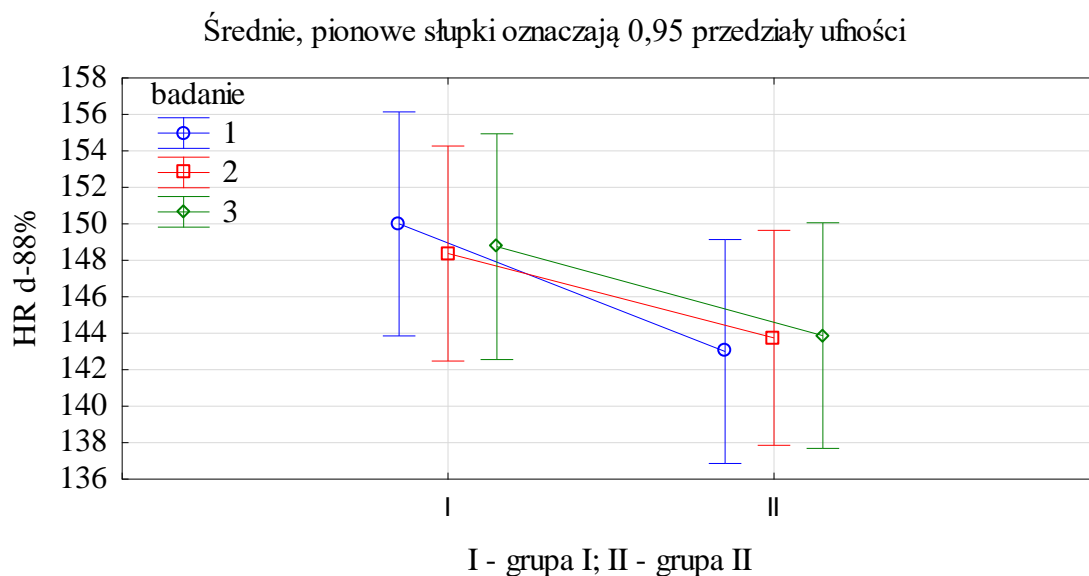
Rycina 26. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej w badanych grupach

Na rycinie 26 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe częstości akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie częstości akcji serca jedynie w grupie II po okresie treningowym.



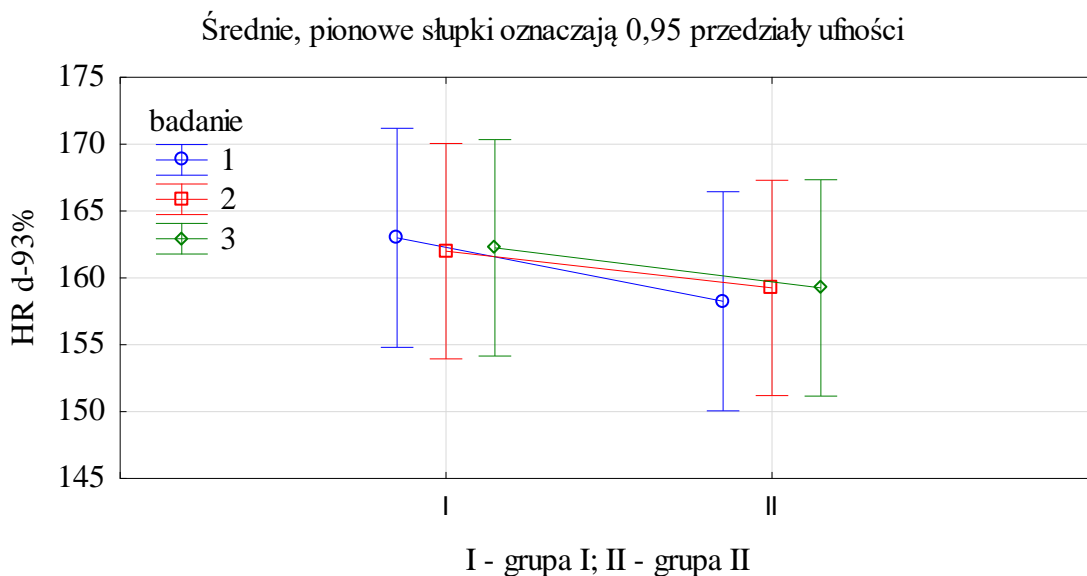
Rycina 27. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej w badanych grupach

Na rycinie 27 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe częstości akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej. Analiza wariancji (tabela 7) nie wykazała istotnych statystycznie zmian częstości akcji serca w badanym przedziale.



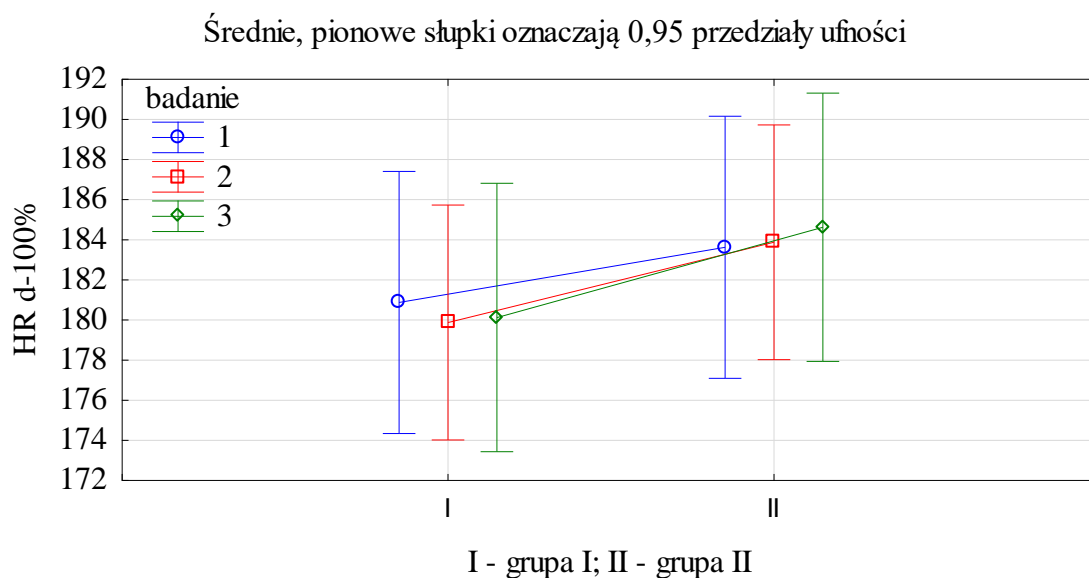
Rycina 28. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej w badanych grupach

Na rycinie 28 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe częstości akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie częstości akcji serca w grupie I po zastosowanym treningu. W grupie II zaobserwowano istotny wzrost ocenianego parametru po 8-tyg. okresie eksperymentu. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy pierwszym pomiarem w grupie I i II a trzecim pomiarem w grupie I i II oraz utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



Rycina 29. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej w badanych grupach

Na rycinie 29 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe częstości akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie częstości akcji serca w grupie I po zastosowanym treningu. W grupie II zaobserwowano istotny wzrost ocenianego parametru po 8-tyg. okresie eksperymentu. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy pierwszym pomiarem w grupie I i II a trzecim pomiarem w grupie I i II oraz utrzymanie efektu w badaniu follow-up.



Rycina 30. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością w badanych grupach

Na rycinie 30 przedstawiono średnie wartości i odchylenia standardowe częstości akcji serca po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością pływania. Na podstawie analizy wariancji (tabela 7) stwierdzono istotne obniżenie częstości akcji serca w grupie I po zastosowanym treningu. W grupie II zaobserwowano istotny wzrost ocenianego parametru po 8-tyg. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym pomiarem w grupie I i II a trzecim pomiarem w grupie I i II oraz utrzymanie efektu w badaniu follow-up.

Tabela 7. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR

Zmienne	Badanie I-II w grupie I	Badanie I-II w grupie II	Badanie I-III w grupie I	Badanie I-III w grupie II	Badanie II-III w grupie I	Badanie II-III w grupie II	Badanie I w grupie I i badanie I w grupie II	Badanie II w grupie I i badanie II w grupie II	Badanie III w grupie I i badania III w grupie II
T-30 (1) [m]	<b>0,0020</b>	0,6337	<b>0,0344</b>	0,5101	0,2455	0,8543	0,1388	0,0691	0,0831
Skala Borga	<b>0,0054</b>	0,2680	<b>0,0135</b>	<b>0,0318</b>	0,7092	0,2680	0,6493	<b>0,0064</b>	<b>0,0021</b>
La (1) [mmol] d-77%	<b>0,0006</b>	<b>0,0409</b>	0,5963	0,2380	<b>0,0023</b>	0,3564	0,5627	0,9547	0,6917
La (1) [mmol] d-83%	<b>0,0259</b>	<b>0,0009</b>	0,3221	<b>0,0259</b>	0,1897	0,1897	0,3852	0,6104	0,5027
La (1)[mmol] d-88%	<b>0,0001</b>	<b>0,0252</b>	<b>0,0154</b>	0,1434	0,0631	0,3969	0,2490	0,4048	0,3349
La (1) [mmol] d-93%	<b>0,0089</b>	1,0000	0,1361	<b>0,0162</b>	0,2114	<b>0,0162</b>	0,0585	0,0700	0,0760
La (1) [mmol] d-100%	<b>0,0043</b>	0,0552	0,1930	<b>0,0345</b>	0,0862	0,8257	0,8002	0,9767	0,9224
HR (1) d-77%	0,3030	<b>0,0050</b>	0,6779	0,1043	0,1529	0,1834	0,9069	0,4314	0,8700
HR (1) d-	0,6536	0,4671	0,1441	0,7789	0,0605	0,6536	0,3210	0,9152	0,0627

83%									
HR(1) d-88%	<b>0,0000</b>	<b>0,0307</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0129</b>	0,2649	0,7074	0,1022	0,2674	0,2435
HR(1) d-93%	<b>0,0015</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0132</b>	<b>0,0015</b>	0,3853	1,0000	0,3894	0,6151	0,5837
HR(1) d-100%	0,0608	0,6290	0,1539	0,0608	0,6290	0,1539	0,5229	0,3566	0,3016

Oceniając wpływ wielu zmiennych niezależnych na zmienną zależną wykazano, iż największy udział w zmienności poziomu wytrenowania (T-30) miały zmienne wyjaśniające: wysokość ciała i siła mięśni wdechowych (MIP), które odpowiadały za około 80% zmienności. Znaczący wpływ miał również stopień odczuwania wysiłku mierzony skalą Borga oraz w najmniejszym stopniu wartość parametru MEF 50 odpowiadająca za przepływ przez małe i średnie oskrzela (tabela 8).

Tabela 8. Regresja wieloraka dla zmiennej T-30 (2). Statystyki współliniowości dla wyrażeń z równania. Parametryzacja z sigma-ograniczeniami

Efekt	Toleranc	Warianc. cz.infl.	R <sup>2</sup>	T-30 (2) [m] Beta (w)	T-30 (2) [m] Cząstk.	T-30 (2) [m] Semi-cz.	T-30 (2) [m] t	T-30 (2) [m] p
Wysokość ciała [m]	0,489584 7	2,042547 4	0,510415 3	<b>0,4500585</b>	<b>0,9976869</b>	<b>0,3149074</b>	<b>25,421214</b>	<b>0,0001335</b>
Skala Borga (2)	0,710100 2	1,408251 9	0,289899 8	<b>0,1647700</b>	<b>0,9997612</b>	<b>0,9815219</b>	<b>79,234332</b>	<b>0,0000044</b>
MEF 50 (2)	0,357396 4	2,798013 7	0,642603 6	- <b>0,0926824</b>	- <b>0,9325246</b>	- <b>0,0554080</b>	<b>-4,472862</b>	<b>0,0208261</b>
MIP (2)[%]	0,456573 9	2,190226 1	0,543426 1	<b>0,3276920</b>	<b>0,9953380</b>	<b>0,2214223</b>	<b>17,874534</b>	<b>0,0003819</b>



## VI DYSKUSJA

Dostępne piśmiennictwo podaje, że w badaniach klinicznych pływaków obserwuje się podwyższoną reaktywność dróg oddechowych przy określonej intensywności ćwiczeń i odpowiednim poziomie wentylacji. Co ciekawe, u pływaków z wysoką klasą sportową takie reakcje mogą nie przebiegać w ten sam sposób. Päivinen i wsp. (2021) dokonali oceny wpływu środowiska wodnego i pływania na czynność płuc. Pływacy wypełniali autorskie ankiety dotyczące ich stanu zdrowia, historii treningu oraz zgłaszali występujące objawy ze strony układu oddechowego podczas pływania z różną intensywnością. Oceniano takie objawy jak: kaszel, świszczący oddech, wydzielanie śluzu z dróg oddechowych i duszność. Dodatkowo wśród 14 zdrowych zawodowych pływaków przeprowadzono testy czynnościowe płuc, tj. spirometrię i maksymalną dowolną wentylację (MVV). Pomiary wykonano na lądzie i w wodzie przed i po pływaniu. Podczas pływania mierzono objętość oddechową wentylacji minutowej (VE), objętość oddechową (VT) i częstotliwość oddechów (fb) podczas pływania na zawodach. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzili, iż grupa badana zgłaszała objawy typu duszność czy świszczący oddech po pływaniu o zwiększonej intensywności. Podczas zmiany środowiska z lądowego na środowisko wodne stosunek natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej ( $FEV_1$ ) do natężonej pojemności życiowej (FVC) ( $FEV_1/FVC$ ) zmniejszył się średnio o (SD) 5,3 % w kobiet i o 2,2% u mężczyzn. Podczas pływania ze zwiększoną intensywnością zwiększyła się wentylacja minutowa (VE) o 72 i 75% w porównaniu z przewidywaną maksymalnej wentylacji dobrowolnej (cMVV) (Päivinen i wsp., 2021). Badania własne wykazały, że przed rozpoczęciem treningu mięśni wdechowych zawodnicy zgłaszali wyższe odczucie zmęczenia wysiłkowego mierzonego skalą Borga. Dołączenie dodatkowego bodźca treningowego w postaci IMT znamienne wpłynęło na obniżenie oceny odczucia ciężkości wysiłku oraz zwiększenie parametrów  $FEV_1\%FVC$  oraz MVV.

Wprowadzenie specjalnych urządzeń do treningu mięśni oddechowych, a w szczególności mięśni wdechowych, wydaje się być przydatne w dyscyplinach sportowych w celu poprawy uzyskiwanych wyników, głównie ze względu na zmniejszenie metaboreflexu, uczucia zmęczenia i duszności. Stosowanie tego typu treningu może być zalecane w różnych dyscyplinach sportowych ze względu na wysoką zależność dawka-

odpowieź. Według Lorca-Santiago i wsp. (2020) jednym z możliwych zastosowań protokołu IMT w codziennej praktyce sportowej może być moment przed rozpoczęciem rozgrzewki, kiedy zawodnicy znajdują się w szatni. Użycie tego typu trenera nie wymaga dużej koncentracji ani użycia rąk. Ta rozgrzewka zajęłaby około dziesięciu minut, obejmując dwie sesje z obciążeniem 40% MIP po 30 oddechów każda. Jeśli zastosuje się protokół na stałe wdrożony do treningów sportowych, idealną procedurą byłoby przeprowadzenie dwóch sesji po 30 wdechów przy 50% MIP, jednej rano i jednej po południu, od czterech do siedmiu razy w tygodniu (Lorca-Santiago i wsp., 2020). Wyniki badań własny również wykazały wysoce istotny przyrost wartości MIP po 8 tygodniach stosowanego treningu mięśni wdechowych u niepełnosprawnych pływaków. Ważnym stwierdzeniem było obserwowanie utrzymania się uzyskanego efektu treningowego po 2 miesiącach od zakończenia IMT przez pływaków w przeciwieństwie do grupy 2 (grupy sham), w której zastosowano trening o minimalnym obciążeniu.

Trening mięśni wdechowych (IMT) jest metodą uzupełniającą, która może wpływać na poprawę wyników sportowych. Dotychczasowe badania wykazały, że IMT może zmniejszyć odczuwaną duszność, akumulację mleczanu i zmęczenie obwodowe, a tym samym poprawić efektywność prowadzonych ćwiczeń (HajGhanbari i wsp., 2013; Illi i wsp., 2012; Cavalcante Silva i wsp., 2019). Trening mięśni wdechowych (IMT) jest ważną metodą, która może osłabiać percepcję zmęczenia oddechowego i obwodowego, co w konsekwencji może poprawiać sprawność nerwowo-mięśniową. Takie zmiany mogą skutkować większą poprawą wydolności wysiłkowej niż sam trening sportowy. W badaniu własnym zaobserwowano istotne statycznie obniżenie odczuwania ciężkości wysiłku mierzonego w skali Borga.

Cavalcante Silva i wsp. (2019), ocenili wpływ IMT na tolerancję wysiłku, powtarzalną zdolność sprintu (RSA), maksymalne ciśnienie wdechowe (MIP) i szczytowy przepływ wdechowy (PIF) u piłkarzy nożnych. W badaniu wzięło udział dwudziestu dwóch zdrowych zawodowych piłkarzy z pierwszej ligi piłki nożnej. Zastosowano 50% obciążenie MIP z 2-tygodniowym okresem treningu IMT. Ocena wykazała istotne statystycznie ( $p < 0,001$ ) skrócenie czasu sprintu po IMT. Ponadto badacze uzyskali istotne obniżenie ( $p < 0,0001$ ) parametrów: RSAbest, RSAmean, całkowitego czasu sprintu i procentowego RSA (RSA % dec) po zastosowaniu IMT. Dodatkowo zaobserwowali

istotnie wyższe ( $p < 0,0002$ ) wyniki maksymalnego ciśnienia wdechowego i szczytowego przepływu wdechowego, już po 2-tygodniowym okresie IMT. Według autorów wzrost wydajności mięśni wdechowych doprowadził do skrócenia czasu sprintu i poprawy tolerancji wysiłku (Cavalcante Silva i wsp., 2019). Podobną tendencję potwierdziły badania własne, w których w grupie wykonującej IMT z obciążeniem 50% MIP uzyskano znaczące wydłużenie przepłyniętego dystansu podczas badania poziomu wydolności (test T-30) oraz zmniejszenie odczuwania ciężkości wysiłku.

Guy i wsp. (2014), przeprowadzili ocenę wpływu IMT na tolerancję wysiłku wśród piłkarzy. Trzydziestu jeden mężczyzn zostało losowo przydzielonych do 3 grup: eksperymentalnej (EXP:  $n = 12$ ), placebo (PLA:  $n = 9$ ) i kontrolnej (CON:  $n = 10$ ). EXP i PLA ukończyła 6-tygodniowy program treningu sportowego z jednoczesnym zastosowaniem IMT. Grupa kontrolna nie wykonywała IMT ani nie trenowała piłki nożnej. Wszyscy uczestnicy wykonali następujące testy przed i po okresie 6 tygodni: parametry spirometryczne, ocenę maksymalnego ciśnienia wdechowego, wieloetapowy test sprawnościowy (MSFT) oraz specyficzny dla piłki nożnej test sprawności (SSFT). Po 6 tygodniach treningu w grupie eksperymentalnej uzyskali istotną statystycznie poprawę MIP ( $p = 0,002$ ). Jednocześnie w badaniu nie stwierdzili istotnych zmian parametru FVC i FEV<sub>1</sub> w żadnej z badanych grup. Ważny jest również fakt, iż w tej grupie wykazali istotne statystycznie wydłużenie pokonanego dystansu w wieloetapowym teście sprawnościowym. Co ciekawe w grupie eksperymentalnej uzyskali istotnie niższe stężenie mleczanu we krwi po teście sprawnościowym. Dołączenie IMT do przedsezonowego treningu piłkarskiego poprawiło tolerancję wysiłku (przebyty dystans MSFT) oraz obniżenie po treningowego stężenia mleczanu (Guy i wsp., 2014). Co ciekawe w badaniu własnym uzyskano poprawę prawie większości ocenianych parametrów czynnościowych układu oddechowego w grupie I. Ważny jest również fakt, iż w tej grupie uzyskano również znaczące wydłużenie przepłyniętego dystansu podczas testu T-30. Jednocześnie zaobserwowano istotne obniżenie kwasu mlekowego mierzonego na wszystkich etapach testu progresywnego 8x100.

Ohya i wsp. (2022), podjęli się próby wyjaśnienia wpływu 6-tygodniowego treningu siły mięśni wdechowych (IMST) o wysokiej intensywności na MIP i wydajność pływania u wysoko wytrenowanych pływaków wyczynowych. Badaniem objęto

trzydziestu pływaków wyczynowych płci męskiej, którzy zostali przydzieleni do grup IMST o wysokiej intensywności (HI; n = 10), IMST o średniej intensywności (MOD; n = 10) i kontrolnej (n = 10). Interwencja treningowa obejmowała sesje dwa razy dziennie przez 6 dni w tygodniu przy obciążeniach progowych ciśnienia wdechowego równoważnych 75% MIP (HI) i 50% MIP (MOD). Przed i po interwencji oceniano parametr MIP i sprawność pływacką. Wydajność pływania oceniano w próbach pływania na czas, na 100 m stylem dowolnym, na basenie o długości 25 m ze swobodnym i kontrolowanym oddychaniem. W przypadku oddychania o kontrolowanej częstotliwości uczestnicy brali 1 oddech co 6 uderzeń. Wartości parametru MIP po 2 i 6 tygodniach IMST w grupach HI i MOD były istotnie wyższe niż przed IMST ( $p = 0,0001$ ). Czasy pływania na 100 m stylem dowolnym w warunkach kontrolowanej częstotliwości były znacznie krótsze po IMST niż te przed IMST w obu grupach HI ( $p = 0,046$ ) i MOD ( $p = 0,042$ ). Według badaczy obciążenie progowe ciśnienia wdechowego odpowiadające 50% MIP może być wystarczające do istotnej poprawy parametru MIP i wydajności pływania u wysoko wyszkolonych pływaków wyczynowych (Ohya i wsp., 2022). Tożsamą zmianę zaobserwowano w badaniach własnych przy zastosowaniu takiego samego obciążenia progowego. Przeprowadzony eksperyment wykazał istotne statystycznie wydłużenie przepłyniętego dystansu jak i siły mięśni oddechowych (MIP, MEP). Ważnym podkreśleniem jest również fakt, iż uzyskane efekty treningowe zostały utrzymane po 2 miesiącach od zakończenia treningu mięśni wdechowych.

Yañez-Sepulveda i wsp. (2021) ocenili wpływ IMT na wydajność pływania oraz jego związek z siłą wdechu i czynnością płuc. Do badań włączono piętnastu pływaków płci męskiej, których podzielono na grupę eksperymentalną (EG; N. = 9) i grupę kontrolną (SCG; N. = 6). Badacze ocenili parametry oddechowe przy użyciu spirometrii, dynamiczną siłę wdechu (S-Index), maksymalny przepływ wdechowego (MIF) i testy pływania (50 m, 100 m i 200 m). W eksperymencie zastosowano początkowe obciążenie 50% w EG i 15% w CG na podstawie wskaźnika S-index. Tylko w EG zwiększano początkowe obciążenie o 5% każdego tygodnia. Przedstawione parametry zostały zmierzone przed i po czterotygodniowym okresie treningowym. Badanie wykazało istotny statystycznie wzrost S-Index, MIF, FVC i MVV tylko jedynie w grupie eksperymentalnej. Co ciekawe również w tej grupie w przypadku testu pływackiego uzyskano istotne zmniejszenie czasu

przepełnienia dystansu 50 m, 100 m i 200 m w porównaniu z grupą kontrolną. Przeprowadzony eksperyment wykazał, że nawet krótkookresowy IMT może istotnie wpływać na wyniki pływackie młodych zawodników (Yañez-Sepulveda i wsp., 2021). Badania własne potwierdzają, że zastosowanie obciążenia IMT na poziomie 50% MIP znacząco zwiększa parametry czynnościowe układu oddechowego, tj. natężoną pojemność życiową oraz maksymalną dowolną wentylację.

Brown i wsp. (2012) zbadali wpływ treningu mięśni wdechowych na wolicjonalny wzrost poziomu mleczanu we krwi ( $[\text{lac}(-)](\text{B})$ ) podczas jazdy na rowerze oraz kinetykę mleczanu we krwi i poboru tlenu na początku ćwiczeń. Do badań włączono dwudziestu mężczyzn, których podzielono na dwie grupy: grupę IMT ( $n = 10$ ) i grupę kontrolną ( $n = 10$ ). Przed 6-tygodniową interwencją i po niej, przeprowadzono dwa powtarzalne testy MLSS z 30-minutową próbą ze stałą mocą. Pierwsza była próbą referencyjną, podczas gdy podczas drugiej próby, trwającej od 20 do 28 minut, uczestnicy naśladowali wzorzec oddychania proporcjonalny do 90% maksymalnej wentylacji minutowej narastającego testu wysiłkowego. Grupa IMT wykonywała 30 kolejnych dynamicznych oddechów, dwa razy dziennie przez 6 tygodni przy użyciu trenera POWERbreathe. Obciążenie treningowe zostało dostosowane indywidualnie i wynosiło 50% MIP. Po interwencji maksymalne ciśnienie wdechowe istotnie wzrosło o 19% tylko w grupie IMT ( $p < 0,01$ ). Ponadto tylko w tej grupie stałe czasowe kinetyki mleczanu we krwi (-28%) i poboru tlenu fazy II (-31%) na początku wysiłku oraz podczas MLSS  $[\text{lac}(-)](\text{B})$  (-15%) zostały istotnie obniżone ( $p < 0,05$ ). Według autorów uzyskane zmiany są wynikiem wzrostu zdolności mięśni wdechowych do transportu oksydacyjnego i/lub mleczanu pod wpływem IMT (Brown i wsp., 2012). W badaniu własnym, w grupie eksperymentalnej uzyskano istotne statycznie obniżenie poziomu kwasu mlekowego na wszystkich ocenianych poziomach testu progresywnego 8x100 po zastosowaniu 8 tygodniowego treningu mięśni wdechowych. Jednocześnie dostrzeżono znaczącą poprawę siły mięśni oddechowych, ocenianej na podstawie parametru MIP i MEP.

Dotychczasowe badania sugerują, że po IMT względne obciążenie pracą wykonywaną przez mięśnie wdechowe podczas samowolnego oddechu zostaje zmniejszone ze względu na wzrost siły mięśni wdechowych. Taki efekt może skutkować zmniejszeniem produkcji kwasu mlekowego netto (Brown i wsp. 2008; Johnson i wsp.,

2006). Wzrost siły przepony (Downey i wsp., 2007) i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych (Ramirez-Sarmiento i wsp., 2002) mógł zmniejszyć względną pracę wykonywaną przez mięśnie wdechowe, opóźniając rekrutację pomocniczych mięśni wdechowych. Skutkiem tego może być mniejsze wytwarzanie mleczanu przez włókna mięśni wdechowych (Marcinik i wsp. 1991). Wyniki badań własnych wskazują, iż zastosowanie IMT przy obciążeniu równym 50% MIP znacząco wpłynęło na poprawę siły mięśni oddechowych oraz na obniżenie stężenia kwasu mlekowego w badanej grupie zawodników.

Trening siłowy o umiarkowanej intensywności i dużej liczbie powtórzeń może również zwiększyć aktywność enzymów mitochondrialnych oraz ekspresję transporterów monokarboksylowych związanych z sarkolemem i błoną mitochondrialną, promując w ten sposób zmniejszoną produkcję mleczanu (Juel i wsp. 2004). W badaniu własnym nie uwzględniono oceny aktywności enzymów mitochondrialnych jednak warto podkreślić fakt, iż istotne statystycznie obniżenie kwasu mlekowego uzyskano jedynie w grupie, w której dołączono IMT na poziomie 50% MIP do standardowego treningu pływackiego.

Efektom IMT może być również obniżenie HR, który jest efektem oporowego obciążenia mięśni wdechowych w wyniku zastosowanego bodźca. Zmniejszenie HR, w którym pośredniczy IMT, może wynikać przede wszystkim ze zwiększonej zdolności oksydacyjnej mięśni wdechowych, co osłabia akumulację metabolitów w mięśniach wdechowych, zmniejszając w ten sposób przeponowe odprowadzanie dośrodkowe zarówno zakończeń nerwowych typu III, jak i IV (Witt i wsp., 2007). W badaniu własnym dostrzeżono istotne obniżenie HR jedynie po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% i 93% prędkości maksymalnej w grupie wykonującej IMT na poziomie 50% MIP. Jednocześnie warto podkreślić fakt, iż uzyskane efekty utrzymały się po 2 miesiącach od zakończenia treningu mięśni wdechowy, co może świadczyć o dużej skuteczności tego rodzaju treningu.

Po zastosowaniu treningu mięśni wdechowych wśród pływaków z niepełnosprawnościami zaobserwowano istotne statystycznie obniżenie stężenia kwasu mlekowego jedynie w grupie wykonującej trening przy obciążeniu 50% MIP. Podobną zmianę zaobserwowali również inni badacze, którzy uzyskali zmniejszenie stężenia mleczanu we krwi ([lac-]B) podczas ćwiczeń po specyficznym treningu mięśni

oddechowych (McConnell i Sharpe, 2005; Romer i wsp., 2002), co może sugerować, że przy umiarkowanych poziomach wentylacji płucnej mięśnie oddechowe mogą stać się konsumentami mleczanu netto (Fregosi i Dempsey, 1986). Według Chiappa i wsp., (2008) dodanie oporu wdechowego (15 cm H<sub>2</sub>O) podczas regeneracji po maksymalnych przyrostowych ćwiczeniach rowerowych znacznie zmniejszyło stężenie mleczanu [lac-]B (~2,5 mmol·L<sup>-1</sup>) w porównaniu z regeneracją bierną (Chiappa i wsp., 2008). Odkrycie to sugeruje, że praca mięśni wdechowych przyspiesza usuwanie mleczanów w podobnym stopniu jak przy aktywnej regeneracji angażującej mięśnie lokomotoryczne, ale z korzyścią w postaci oszczędzania wewnątrzmięśniowych zapasów energii (Dupont i wsp., 2003).

Brown i wsp. (2010) ocenili wpływ obciążenia progowego wdechu (ITL) i treningu mięśni wdechowych (IMT) na stężenie mleczanu we krwi ([lac-]B) i równowagę kwasowo-zasadową. Do badania włączono 18 zdrowych, niepalących mężczyzn. Przez cały okres eksperymentu badanych poinstruowano, aby przestrzegali swojego normalnego schematu treningowego i nie angażowali się w żadne forsowne ćwiczenia w dniu poprzedzającym i w dniu próby. Wszystkie próby wysiłkowe przeprowadzono na cykloergometrze rowerowym z hamulcem elektromagnetycznym, o podobnej porze dnia, w odstępie 48 godzin i w podobnych warunkach laboratoryjnych. Badanych podzielono na grupę kontrolną (n = 9) i grupę IMT (n = 9). Przed i po 6-tygodniowej interwencji badani ukończyli dwa maksymalne przyrostowe testy na cykloergometrze rowerowym, po których nastąpiło 20 minut odpoczynku z stałym oporem wdechowym (15 cm H<sub>2</sub>O) (ITL) lub bez (pasywne regeneracja). Grupa IMT wykonywała przez 6 tyg. trening mięśni wdechowych przy 50% maksymalnego ciśnienia wdechowego. Po interwencji uzyskano istotny wzrost maksymalnego ciśnienia wdechowe tylko w grupie IMT (+34%). Jednocześnie po IMT, uzyskano istotne zmniejszenie mleczanu przez cały czas ITL (minuty 2-20) o  $0,66 \pm 1,28$  mmol·L<sup>-1</sup> (P < 0,05) (Brown i wsp., 2010). Tożsame obniżenie stężenia kwasu mlekowego osiągnięto w badaniu własnym po 8 – tygodniowym IMT w grupie pływaków z niepełnosprawnościami. Prowadzony eksperyment potwierdził skuteczność zastosowanego obciążenia treningowego.

Z kolei Ramsook i wsp. (2017) badaniami objęli dwudziestu pięciu młodych, zdrowych, aktywnych rekreacyjnie mężczyzn, którym przydzielono losowo do dwóch grup badanych: grupy IMT i grupy treningu kontroli pozorowanej (SC). Grupa IMT

wykonywała trening mięśni wdechowych z użyciem urządzenia PowerBreath K3. Trening odbywał się 5 dni w tygodniu przez 5 tygodni, dwa razy dziennie. Każda sesja obejmowała 30 oddechów i oporem początkowym równym 50% maksymalnego ciśnienia wdechowego. Badanych z grupy IMT poinstruowano, aby swobodnie zwiększać intensywność treningu, tak aby trenowali z maksymalną intensywnością 30 powtórzeń. Grupa SC również wykonywała IMT przez 5 tygodni, ale ze stałą intensywnością 10% MIP raz dziennie, 60 oddechów, 5 dni w tygodniu. W badaniu oceniono funkcję układu oddechowego i maksymalne ciśnienie wdechowe. Poziom duszności mierzono podczas ćwiczeń przy użyciu zmodyfikowanej skali 0–10 Borga. Po IMT uzyskano istotną poprawę MIP, podczas gdy w grupie SC nie zaobserwowano takiego efektu. Jednocześnie istotnemu zmniejszeniu uległ poziom skali Borg tylko w grupie IMT (przed:  $7,6 \pm 2,5$  vs po:  $6,8 \pm 2,9$  jednostek Borg,  $p < 0,05$ ) (Ramsook i wsp., 2017). W badaniu własnym obniżenie poziomu oceny ciężkości wysiłku mierzonego w skali Borga uzyskano jedynie w grupie wykonującej trening mięśni wdechowych z obciążeniem 50 % maksymalnego ciśnienia wdechowego. Jednocześnie warto podkreślić, iż uzyskany efekt utrzymał się po 2 miesiącach od zakończenia IMT. Takiej zmiany nie zaobserwowano po IMT z obciążeniem na poziomie 15% MIP. Wyniki badania wskazują, że jedynie odpowiedni dobór obciążenia treningowego może skutecznie obniżyć poziom odczuwania duszności (odczucia ciężkości wysiłku) podczas wykonywanej aktywności fizycznej.

Dostępne badania sugerują, że siła mięśni wdechowych może wpływać na parametry hemodynamiczne, w tym rzut serca, średnie ciśnienie tętnicze krwi i opór naczyniowy. Zastosowanie IMT oceniono również jako terapię wspomagającą w celu poprawy modulacji autonomicznej na podstawie uzyskanych zmian na poziomie układu oddechowego. Aktualny stan wiedzy wskazuje, iż ten rodzaj treningu może zmniejszać aktywność układu współczulnego poprzez tłumienie metabrefleksu w mięśniach oddechowych, poprawiając wydolność funkcjonalną i sprawność fizyczną, zmienności rytmu serca (HRV) i częstość akcji serca (Cipriano i wsp., 2019; de Abreu i wsp., 2017; HajGhanbari i wsp., 2013). Co ciekawe, dostępne piśmiennictwo wskazuje, że efektem zastosowania IMT o niskiej i umiarkowanej intensywności może być zmniejszenie częstości akcji serca (HR) i rozkurczowego ciśnienia krwi (DBP) (Cipriano i wsp., 2019). W badaniu własnym zmniejszenie poziomu HR uzyskano jedynie przy pomiarze po



przepląnięciu 100 m z prędkością pływania 88% i 93% prędkości maksymalnej w grupie I. Warto podkreślić również fakt, że uzyskany efekt treningowy utrzymał się w tej grupie po zakończeniu IMT.

Trening mięśni wdechowy stosuje się również u sportowców z hipokseміą wywołaną wysiłkiem fizycznym. Riganas i wsp. (2019) zbadali wpływ zastosowania protokołu IMT na spoczynkową czynność płuc, wysycenie tlenem krwi tętniczej po wysiłku i wydajność u wioślarzy z hipokseміą. Sportowców podzielono na cztery grupy: IMT-mężczyźni, control-mężczyźni, IMT-kobiety i control-kobiety. Grupy IMT oprócz regularnego treningu sportowego wykonywały IMT (30 min/dzień, 5 razy/tydzień, 6 tygodni). Przed i po treningu, grupy wykonano test wioślarski, 2000-m test na czas i 5-minutowy wyścig „all-out”. Przeprowadzone badanie wykazało zwiększenie maksymalnego ciśnienia wdechowego po IMT w grupie mężczyzn ( $135 \pm 31$  vs  $180 \pm 22$  cmH<sub>2</sub>O) i kobiet ( $93 \pm 19$  vs  $142 \pm 22$  cmH<sub>2</sub>O) ( $p < 0,05$ ). Co ciekawe w grupie kobiet-IMT wykazano niższą hipokseміę i istotnie wyższe wyniki wioślarstwa w próbie na czas 2000 m ( $487 \pm 32$  vs.  $461 \pm 34$  s) oraz w 5-minutowym teście „all-out” ( $1285 \pm 28$  vs.  $1310 \pm 36$ m) ( $p < 0,05$ ). Zastosowany protokół IMT istotnie poprawił wyniki w mężczyzn-IMT tylko w teście 5-minutowym ( $1651 \pm 31$  vs.  $1746 \pm 37$  m) ( $p < 0,05$ ) (Riganas i wsp., 2019). Jak już wspomniano w badaniu własnym uzyskano istotne zwiększenie maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego oraz przebytego dystansu w teście T-30 jedynie w grupie wykonującej IMT z obciążeniem 50% MIP i potwierdzono utrzymanie się efektu również po zakończeniu okresu treningowego.

Trening mięśni wdechowych znajduje również zastosowanie u sportowców z niepełnosprawnościami. Soumyashree i Kaur (2020) ocenili wpływ treningu mięśni wdechowych na siłę mięśni oddechowych, zmęczenie oraz wydolność fizyczną u wyczynowych zawodników koszykówki na wózkach inwalidzkich. Zgodnie z zastosowanym protokołem grupa treningowa (TG) wykonywała IMT z przyrostowym obciążeniem przez 12 tygodni z 50%, 60% i 70% MIP, podczas gdy grupa kontrolna (CG) wykonywał go z obciążeniem 15% MIP. W grupie treningowej uzyskano istotne wydłużenie przebytego dystansu w 6-minutowym teście push (6 minutes push test – 6MPT). Co ciekawe grupa IMT uzyskała lepsze wyniki niż grupa kontrolna w 12-minutowym teście aerobowym na wózku inwalidzkim (95% CI, 3,9 do 9,2), wieloetapowym teście

sprawności (95% CI, 1,0 do 3,3) i 6-minutowym teście push (95% CI, 15,9 do 44,4). Wyniki MIP (95% CI, -30,2 do -12,1) i MEP (95% CI, 8,6 do 25,7) również wykazują istotnie większą poprawę w grupie IMT w porównaniu do grupy kontrolnej. W grupie IMT zaobserwowano również znaczące obniżenie oceny wg zmodyfikowanej skali Borga (95% CI, -3,2 do -0,6) (Soumyashree i Kaur, 2020). Wyniki badań własnych potwierdzają tę tendencję. Pływacy wykonujący IMT z obciążeniem 50% uzyskali znacząco większy przyrost ocenianych parametrów MIP, MEP, VC, FEV<sub>1</sub>, i MVV w porównaniu z grupą wykonującą IMT z obciążeniem 15% MIP.

Uzupełnienie standardowego treningu sportowego o IMT może również istotnie zwiększyć natężoną objętość wydechową pierwszosekundową do pojemności życiowej (FEV<sub>1</sub>/VC) oraz maksymalną dowolną wentylację (MVV) (Alnuman i Alshamasneh, 2022). Koç i Saritas (2019) w przeprowadzonych badaniach odnotowali istotny wzrost wartości FEV<sub>1</sub> i MVV po IMT na korzyść grupy eksperymentalnej (Koç i Saritas, 2019). W systematycznym przeglądzie Hajghanbari i wsp. (2013) stwierdzili również istotne zwiększenie FEV<sub>1</sub> i MVV po IMT oraz brak istotnych zmian w FVC (Hajghanbari i wsp., 2013). Júnior i wsp. (2018) w przeprowadzonym eksperymencie uzyskali istotny wzrost maksymalnej dowolnej wentylacji, maksymalnego ciśnienia wdechowego, maksymalnego ciśnienia wydechowego i istotne wydłużenie przebytego dystansu w teście Yo Yo po zastosowaniu IMT (Júnior i wsp., 2018). Badania własne potwierdziły, że dołączenie IMT do standardowego treningu pływackiego może znacząco wydłużyć przyplnięty dystans w teście T-30 oraz istotnie poprawić parametry czynnościowe układu oddechowego.

Trening mięśni wdechowych może być zalecany do poprawy sprawności fizycznej osób zdrowych, sportowców i osób z chorobami przewlekłymi. Sousa i wsp. (2021) ocenili wpływ wysokiej i niskiej intensywności treningu sportowego z dołączonym IMT na wydolność tlenową piłkarzy halowych. Badani zostali podzieleni na dwie grupy: CON (grupa kontrolna, bez treningu mięśni wdechowych); HIG (grupa o wysokiej intensywności treningu sportowego, trening mięśni wdechowych przy 80% MIP) i LIG (niska intensywność treningu sportowego, trening mięśni wdechowych przy 50% MIP). Oba zastosowane protokoły treningu mięśni wdechowych znacząco poprawiły maksymalne ciśnienie wdechowe i wydechowe oraz pośrednie maksymalne zużycie tlenu. Jednocześnie w grupach z IMT wykazano istotnie dłuższy przebyty dystans w teście wahadłowym

w porównaniu z grupą kontrolną. Jednak tylko w grupie HIG osiągnięto znaczny wzrost pośredniego zużycia tlenu oraz zwiększenie częstotliwości narastania kroku w 3-minutowym teście krokowym ( $p < 0,05$ ) (de Sousa i wsp., 2021). W przeprowadzonym eksperymencie zaobserwowano tożsame pozytywne efekty jedynie wśród pływaków wykonujących IMT przy obciążeniu 50% MIP. Badani wykonujący IMT o niższym obciążeniu nie osiągnęli znaczących zamian po treningowych.

Wprowadzenie specjalnych urządzeń do treningu mięśni oddechowych, a w szczególności mięśni wdechowych, wydaje się być przydatne w różnych dyscyplinach sportowych w celu poprawy wyników, głównie ze względu na zmniejszenie metabreflexu, uczucia zmęczenia i duszności. Stosowanie tego typu treningu jest zalecane w różnorodnych dyscyplinach sportowych ze względu na wysoką zależność dawka-odpowiedź (Lorca-Santiago i wsp., 2020). Badanie Tong i wsp. (2010) potwierdziło tę tendencję. Eksperyment wykazał znaczącą poprawę wydajności zarówno w teście Yo-Yo ( $\approx 31\%$ ), jak i w procentowej zmienności zdolności do utrzymywania dużych prędkości na różnych dystansach (200 m,  $\approx 25\%$ ; 600 m,  $\approx 53\%$ ; 800 m,  $\approx 36\%$ ) (Tong i wsp., 2010). Inne badanie potwierdziło ten efekt wykazując, że grupa wykonująca protokoły IMT na poziomie MIP 40% (jako rozgrzewka) i MIP 50% uzyskała istotne wydłużenie przebytego dystansu niż grupa kontrolna wykonująca trening na poziomie MIP 15% (Lomax i wsp., 2010). Co ciekawe w badaniu własnym uzyskano nie tylko poprawę poziomu wytrenowania mierzonego w teście T-30 ale również w badaniu 3 – follow up - utrzymał się istotnie dłuższy dystans w porównaniu do badania sprzed rozpoczęcia treningu mięśni wdechowych.

Nieliczni autorzy podejmują się oceny efektów po zastosowaniu IMT wśród sportowców z niepełnosprawnościami. Antonelli i wsp. (2020) ocenili wpływ treningu mięśni wdechowych na siłę i zmęczenie mięśni oddechowych oraz wydolność fizyczną (PP) u wyczynowych zawodników koszykówki na wózkach inwalidzkich. W eksperymencie oceniali siłę mięśni oddechowych (MIP i MEP) oraz tlenowy test Yo-Yo. Grupa eksperymentalna wykonała IMT z przyrostowym obciążeniem 50%, 60% i 70% MIP przez 12 tygodni. Natomiast grupa kontrolna wykonywała IMT z obciążeniem 15% MIP. Po okresie treningowym w grupie kontrolnej zaobserwowali znaczny wzrost siły mięśni oddechowych, jednak nie wykazano istotnych zmian w teście wydolnościowym.

W przypadku grupy eksperymentalnej uzyskali znaczący wzrost zarówno parametrów siły mięśni oddechowych (MIP, MEP) jak i istotne wydłużenie przebytego dystansu w teście Yo-Yo. Protokół IMT z progresywnym obciążeniem był bardziej skuteczny w zwiększaniu wydolności zawodników z niepełnosprawnościami (Antonelli i wsp., 2020). Te odkrycia są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Pereiry i wsp. (2016), którzy prowadzili badania wśród koszykarzy z niepełnosprawnościami. Autorzy w swoim eksperymencie wykazali istotną, dodatnią korelację między maksymalnym ciśnieniem wdechowym a dystansem uzyskanym w teście wydolnościowym (Pereira i wsp., 2016). Potwierdzają to wyniki badań własnych, gdzie w analizie regresji wielokrotnej wykazano znaczący udział siły mięśni oddechowych w uzyskaniu wyższego poziomu wytrenowania mierzonego testem T-30. Poprawa siły mięśni oddechowych i zmniejszenie stopnia zmęczenia tych mięśni może przyczynić się do utrzymania pracy oddechowej na odpowiednim poziomie i lepszej kontroli tułowia przy dużej intensywności wysiłkowej. Takie zmiany mogą sprzyjać poprawie wydolności fizycznej również wśród sportowców z niepełnosprawnościami co potwierdzili West i wsp. (2014).

## VII WNIOSKI

1. Trening mięśni wdechowych z obciążeniem 50% MIP istotnie zwiększył parametry czynnościowe układu oddechowego i siłę mięśni oddechowych pływaków z niepełnosprawnościami.
2. Stwierdzono pozytywne odległe efekty zastosowania treningu mięśni wdechowych z obciążeniem 50% MIP w utrzymaniu osiągniętych poziomów parametrów czynnościowych układu oddechowego, co wskazuje na utrzymywanie się uzyskanego, wyższego poziomu wytrenowania przez dłuższy czas po zakończeniu treningu .
3. Zastosowanie treningu o wyższej intensywności znacząco obniżyło reakcję zmęczenia na wysiłek ocenianą według skali Borga.
4. Trening mięśni wdechowych o wyższej intensywności istotnie poprawił poziom wytrenowania badanych zawodników, co związane było z wydłużeniem dystansu pływania. Uzyskane wyniki potwierdzają zasadność zastosowania treningu mięśni wdechowych wśród sportowców z niepełnosprawnościami.
5. Wprowadzenie treningu mięśni wdechowych o wyższej intensywności znacząco obniżyło poziom kwasu mlekowego w teście progresywnym, co uwierzytelnia zasadność dodatkowego uzupełnienia przygotowania sportowców tym rodzajem treningu.
6. Trening o wyższej intensywności znamienne obniżył częstość akcji serca w teście progresywnym 8x100 na poziomie 88% i 93% prędkości maksymalnej poprawiając przez to wytrzymałość tlenową zawodników.
7. Na uzyskanie wysokiego poziomu wytrenowania ocenianego testem T-30 ma wpływ przede wszystkim wysokość ciała i siła mięśni wdechowych oraz w mniejszym stopniu odczuwanie zmęczenia w skali Borga oraz przepływ przez małe i średnie oskrzela.
8. Zastosowanie treningu mięśni wdechowych o wyższej intensywności skutecznie poprawiło poziom wytrenowania i parametry fizjologiczne wysiłku pływaków. Wskazuje to na potrzebę włączenia tego rodzaju treningu do standardu przygotowania zawodniczego sportowców z niepełnosprawnościami.

## VIII PIŚMIENICTWO

1. Alnuman N, Alshamasneh A. The Effect of Inspiratory Muscle Training on The Pulmonary Function in Mixed Martial Arts and Kickboxing Athletes. *J Hum Kinet.* 2022, 81(10):53-63.
2. American Thoracic Society/European Respiratory Society: ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002, 166: 518–624.
3. Antonelli CBB, Hartz CS, Santos SDS, Moreno MA. Effects of Inspiratory Muscle Training With Progressive Loading on Respiratory Muscle Function and Sports Performance in High-Performance Wheelchair Basketball Athletes: A Randomized Clinical Trial. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020, 15(2): 238-242.
4. Archiza B, Andaku DK, Caruso FCR, Bonjorno JC Jr, Oliveira CR, Ricci PA, Amaral ACD, Mattiello SM, Libardi CA, Phillips SA, Arena R, Borghi-Silva A. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *J Sports Sci.* 2018, 36(7): 771-780.
5. Archiza B, Welch JF, Geary CM, Allen GP, Borghi-Silva A, Sheel AW: Temporal characteristics of exercise-induced diaphragmatic fatigue. *J Appl Physiol* 2018, 124: 906-914
6. Atan T, Akyol P, Çebi M, Farklı B, Uğraşan S, Solunum F, Çebi M. Comparison of respiratory functions of athletes engaged in different individual sports branches. *Dicle Medical Journal.* 2013, 40(2):192–198.
7. Australian Bureau of Statistics. *Sports and Physical Recreation: A Statistical Overview: Australia.* 2010.
8. Babcock MA, Pegelow DF, Harms CA, Dempsey JA: Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 2002, 93: 201-206.
9. Bakhtar F, Ahmad B, Aminisani N, Gilani N, Allahverdipou H. Psychological, social, and environmental predictors of physical activity among older adults: The socio-ecological approach using structural equation modeling analysis. *Baltic Journal of Health and Physical Activity.* 2019, 11(2): 117–126.

10. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970, 2(2): 92-98.
11. Brown PI, Sharp GR, Johnson MA. Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Jun;42(6): 1103-1112.
12. Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. Inspiratory muscle training abolishes the blood lactate increase associated with volitional hyperpnoea superimposed on exercise and accelerates lactate and oxygen uptake kinetics at the onset of exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012, 112(6):2117-2129.
13. Carrick-Ranson G, Hastings JL, Bhella PS, Fujimoto N, Shibata S, Palmer MD. The effect of lifelong exercise dose on cardiovascular function during exercise. *J Appl Physiol* 2014, 116(7): 736–745.
14. Caruso P, Pereira de Albuquerque AL, Santana PV, Cardenas LZ, Ferreira JG, Prina E, Trevizan PF, Pereira MC, Iamonti V, Pletsch R, Macchione MC, Carvalho CRR. Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *J Bras Pneumol* 2015, 41(2): 110–123.
15. Cavalcante Silva RL, Hall E, Maior AS. Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional soccer players. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2019, 23: 452–455.
16. Chiappa GR, Roseguini BT, Alves CN, Ferlin EL, Neder JA, Ribeiro JP. Blood lactate during recovery from intense exercise: impact of inspiratory loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2008, 40(1): 111-116.
17. Cipriano GF, Cipriano G Jr, Santos FV, Güntzel Chiappa AM, Pires L, Cahalin LP, Chiappa GR. Current insights of inspiratory muscle training on the cardiovascular system: a systematic review with meta-analysis. *Cipriano GF, Cipriano G Jr, Santos FV, Güntzel Chiappa AM, Pires L, Cahalin LP, Chiappa GR. Current insights of inspiratory muscle training on the cardiovascular system: a systematic review with meta-analysis. Integr Blood Press Control.* 2019, 20, 12: 1-11.
18. Constantin-Teodosiu D, Constantin D. Molecular Mechanisms of Muscle Fatigue. *Int J Mol Sci.* 2021, 27, 22(21): 11587.
19. Cordain L, Stager J. Pulmonary structure and function in swimmers. *Sports Med.* 1988, 6: 27.

20. de Abreu RM, Rehder-Santos P, Minatel V, Dos Santos GL, Catai AM. Effects of inspiratory muscle training on cardiovascular autonomic control: a systematic review. *Auton Neurosci*. 2017, 208: 29–35.
21. de Medeiros AIC, Fuzari HKB, Rattesa C, Brandão DC, de Melo Marinho PÉ. Inspiratory muscle training improves respiratory muscle strength, functional capacity and quality of life in patients with chronic kidney disease: a systematic review. *J Physiother* 2017, 63(2): 76-83.
22. de Sousa MM, Pimentel MDS, Sobreira IA, Barros RJ, Borghi-Silva A, Mazzoli-Rocha F. Inspiratory Muscle Training Improves Aerobic Capacity in Amateur Indoor Football Players. *Int J Sports Med*. 2021, 42(5):456-463.
23. Deminice R, Papoti M, Zagatto AM, do Prado Júnior MV. Validity of 30 minutes test (T-30) in aerobic capacity, stroke parameters and aerobic performance determination of trained swimmers. *Rev Bras Med Esporte* 2007, 13(3): 173-176.
24. Downey AE, Chenoweth LM, Townsend DK, Ranum JD, Ferguson CS, Harms CA. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol*. 2007, 14;156(2): 137-146.
25. Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. *Eur J Appl Physiol*. 2003, 89: 548-554.
26. Durmic T, Lazovic Popovic B, Djelic M, Lazic JS, Zikic D, Zugic V, Dekleva M, Mazic S. Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes. *J Bras Pneumol*. 2015, 41(6): 516-522.
27. Durmic T, Lazovic Popovic B, Zlatkovic Svenda M, Djelic M, Zugic V, Gavrilovic T, Mihailovic Z, Zdravkovic M, Leischik R. The training type influence on male elite athletes' ventilatory function. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2017, 28, 3(1):e000240.
28. Fregosi RF, Dempsey JA. Effects of exercise in normoxia and acute hypoxia on respiratory muscle metabolites. *J Appl Physiol*. 1986, 60:1274-1283.
29. Galy O, Ben Zoubir S, Hamblil M, Chaouachi A, Hue O, Chamari K. Relationships between heart rate and physiological parameters of performance in top-level water polo players. *Biol Sport*. 2014, 31(1):33–38.



30. Gething AD, Passfield L, Davies B. The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate and perceived exertion. *Eur J Appl Physiol* 2004, 92: 50–55.
31. Goosey-Tolfrey V, Foden E, PeTorret C. Effects of inspiratory muscle training on respiratory function and repetitive sprint performance in wheelchair basketball players. *Br J Sports Med* 2010, 44: 665-668.
32. Guy JH, Edwards AM, Deakin GB. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer-specific fitness. *J Strength Cond Res.* 2014, 28(2): 483-491.
33. Hajghanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, Palmer SA, Toy MA, Walsh C, Sheel W, Reid WR. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res* 2013, 27(6): 1643-1663.
34. Hartz CS, Pires PF, Moreno MA, Bigaton DR. EMG frequency spectral characteristics of inspiratory accessory muscles during the shoulder lifting motion in throwing athletes. *MTP&RehabJournal* 2015; 13: 232.
35. Hartz CS, Sindorf MAG, Lopes CR, Batista J, Moreno MA. Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. *J Hum Kinet* 2018, 24(63): 43-51.
36. Hautmann H, Hefele S, Schotten K, Huber RM. Maximal inspiratory mouth pressures (PIMAX) in healthy subjects – what is the lower limit of normal? *Respir Med* 2000, 94: 689–693.
37. Hellyer NJ, Folsom IA, Gaz DV, Kakuk AC, Mack JL, Ver Mulm JA. Respiratory Muscle Activity During Simultaneous Stationary Cycling and Inspiratory Muscle Training. *J Strength Cond Res.* 2015, 29(12): 3517-3522.
38. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2012, 42:707–724.
39. Janssens L, McConnell AK, Pijnenburg M, Claeys K, Goossens N, Lysens R, Troosters T, Brumagne S. Inspiratory Muscle Training Affects Proprioceptive Use and Low Back Pain. *Med Sci Sports Exerc* 2015, 47(1):12-19.

40. Juel C, Holten MK, Dela F. Effects of strength training on muscle lactate release and MCT1 and MCT4 content in healthy and type 2 diabetic humans. *J Physiol* 2004, 556 (Pt 1):297-304.
41. Júnior A, Donzeli M., Shimano S, Oliveira N., Ruas G. Bertoncello, D. Effects of high-intensity inspiratory muscle training in rugby players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2018, 24. 10.1590/1517-869220182403166216.
42. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming Performance *Eur J Appl Physiol* 2010, 108: 505–511.
43. Klusiewicz A. Trening mięśni oddechowych a zdolność wysiłkowa zawodników. *SW* 2007, 7-9: 71-87.
44. Koç M., Saritaş N.. The effect of respiratory muscle training on aerobic and anaerobic strength in adolescent taekwondo athletes. *Journal of Education and Training Studies*. 2019;7(2):103.
45. Laub TB, Pilgaard M. Sports Participation in Denmark 2011. Available at: [https://www.kenniscentrumsport.nl/publicatie/?sports-participation-in-denmark-2011&kb\\_id512031](https://www.kenniscentrumsport.nl/publicatie/?sports-participation-in-denmark-2011&kb_id512031). Accessed March 21, 2018.
46. Lazovic B, Mazic S, Suzic-Lazic J, Djelic M., Djordjevic-Saranovic S., Durmic T., Zikic D., Zugic V.. Respiratory adaptations in different types of sport. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2015, 19(12): 2269–2274.
47. Lomax M, Grant I, Corbett J. Inspiratory Muscle Warm-up and Inspiratory Muscle Training: Separate and Combined Effects on Intermittent Running to Exhaustion. *J. Sports Sci*. 2011, 29:563–569.
48. Lorca-Santiago J, Jiménez SL, Pareja-Galeano H, Lorenzo A. Inspiratory Muscle Training in Intermittent Sports Modalities: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020, 17(12): 4448.
49. Lyn G, Litchke LG, Russian CJ, Lloyd LK, Schmidt EA, Price L, Walker JL. Effects of Respiratory Resistance Training With a Concurrent Flow Device on Wheelchair Athletes. *J Spinal Cord Med*. 2008, 31: 65–71.
50. Maglischo E. *Swimming even faster*. Mayfield Publishing Company. Mountain View. 1993.

51. Marcinik EJ, Potts J, Schlabach G, Will S, Dawson P, Hurley BF. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1991, 23(6):739-743.
52. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol* 2006, 15(577): 445-457.
53. McConnell AK, Sharpe GR. The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol.* 2005, 94: 277-284.
54. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, P. Enright P, van der Grinten CPM, Gustafsson P, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Viegi G, Wanger J. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005, 26: 319-338.
55. Muranaka M, Suzuki Y, Ando R, Sengoku Y. Change in short distance swimming performance following inspiratory muscle fatigue. *J Sports Med Phys Fitness.* 2021, 61(11): 1433-1440.
56. Nepomuceno Júniora BRV, Gómezb TB, Neto MG. Use of Powerbreathe ® in inspiratory muscle training for athletes: systematic review. *Fisioter Mov* 2016, 29(4): 821-830.
57. Ohya T, Kusanagi K, Koizumi J, Ando R, Katayama K, Suzuki Y. Effect of Moderate- or High-Intensity Inspiratory Muscle Strength Training on Maximal Inspiratory Mouth Pressure and Swimming Performance in Highly Trained Competitive Swimmers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2022, 17(3): 343-349.
58. Olbrecht J, Madsen O, Mader A, Liesen H, Hollman W. Relationship between swimming velocity and lactate concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int J Sports Med* 2001, 6(2):74–77.
59. Oueslatia F, Booneb J, Ahmaidia S. Respiratory muscle endurance, oxygen saturation index in vastuslateralisband performance during heavy exercise. *Respir Physiol Neurobiol* 2016, 227: 41-47.

60. Päivinen M, Keskinen K, Tikkanen H. Swimming-induced changes in pulmonary function: special observations for clinical testing. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2021, 13(1): 55.
61. Pereira R, Abreu M, Gonçalves C, Corrêa W, Mizuhira D, Moreno M. Respiratory muscle strength and aerobic performance of wheelchair basketball players. *Motriz: Revista de Educação Física.* 2016, 22: 124-132.
62. Pilecka D, Jurek T. The origins of the special olympics movement in Poland in the 20th century. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine.* 2020, 4 (32) 43–50.
63. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* 2012, 40(6):1324–1343.
64. Ramirez-Sarmiento A, Orozco-Levi M, Guell R, Barreiro E, Hernandez N, Mota S, Sangenis M, Broquetas JM, Casan P, Gea J. Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: structural adaptation and physiologic outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002, 166(11):1491-1497.
65. Ramsook AH, Molgat-Seon Y, Schaeffer MR, Wilkie SS, Camp PG, Reid WD, Romer LM, Guenette JA. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. *J Appl Physiol* 2017, 122(5):1267-1275.
66. Riganas C, Papadopoulou Z, Margaritelis NV, Christoulas K, Vrabas IS. Inspiratory muscle training effects on oxygen saturation and performance in hypoxemic rowers: Effect of sex. *J Sports Sci.* 2019, 37(22): 2513-2521.
67. Rochat I, Côté A, Boulet LP. Determinants of lung function changes in athletic swimmers. A review. *Acta Paediatr.* 2022, 111(2): 259-264.
68. Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA: Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol* 2006, 571: 425-439.
69. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci* 2002, 20: 547–562.

70. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high-intensity, repetitive sprint activity. *Int J Sports Med.* 2002, 23: 353-360.
71. Romer LM, Polkey MI. Exercise induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *J Appl Physiol* 2008, 104(3): 879-888.
72. Rong C, Bei H, Yun M, Yuzhu W, Mingwu Z. Lung function and cytokine levels in professional athletes. *J Asthma.* 2008, 45(4): 343-348.
73. Sales ATN, Fregonezi GAF, Ramsook EH, Guenette JA, Lima INDF, Reid WD. Respiratory muscle endurance after training in athletes and nonathletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 2016, 17: 76-86.
74. Segizbaeva MO, Timofeev NN, Donina ZhA, Kur'yanovich EN, Aleksandrova NP. Effects of inspiratory muscle training on resistance to fatigue of respiratory muscles during exhaustive exercise. *Adv Exp Med Biol.* 2015, 840: 35-43.
75. Shei RJ, Lindley M, Chatham K, Mickleborough TD. Effect of flow-resistive inspiratory loading on pulmonary and respiratory muscle function in sub-elite swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 2016, 56(4): 392-398.
76. Soumyashree S, Kaur J. Effect of inspiratory muscle training (IMT) on aerobic capacity, respiratory muscle strength and rate of perceived exertion in paraplegics. *J Spinal Cord Med.* 2020, 43(1): 53-59.
77. Spengler CM, Roos M, Laube SM, Boutellier U. Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1999, 79: 299-305.
78. Taylor BJ, How SC, Romer LM: Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol* 2006, 100: 1554-1562.
79. Taylor BJ, Romer LM: Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol* 2008, 104: 1442-1451.
80. The National Institute of Statistics and Economic Studies. Licenses sports and other equity securities by federation approved in 2015. Insee 2018.

81. Tiller NB, Campbell IG, Romer LM. Influence of Upper-Body Exercise on the Fatigability of Human Respiratory Muscles. *Med Sci Sports Exerc* 2017, 49(7): 1461-1472.
82. Tong TK, Fu FH, Eston R, Chung PK, Quach B, Lu K. Chronic and Acute Inspiratory Muscle Loading Augment the Effect of a 6-Week Interval Program on Tolerance of High-Intensity Intermittent Bouts of Running. *J. Strength Cond. Res.* 2010, 24: 3041–3048.
83. Tweedy SM, Vanlandewijck Y. International Paralympic Committee position stand- background and scientific rationale for classification in paralympic sport. *Br J Sports Med* 2011, 45(4): 259-269.
84. Vašíčková J, Neumannová K, Svozil Z. The Effect of Respiratory Muscle Training on Fin-Swimmers' Performance. *J Sports Sci Med* 2017, 16(4): 521–526.
85. Verges S, Schulz C, Perret C, Spengler CM: Impaired abdominal muscle contractility after high-intensity exhaustive exercise assessed by magnetic stimulation. *Muscle Nerve* 2006, 34: 423-430.
86. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001, 33(5): 803-809.
87. Webborn N, Van de Vliet P. Paralympic medicine. *Lancet.* 2012, 7, 380(9836): 65-71.
88. Węgrzynowska-Teodorczyk K, Jankowska EA, Banasiak W, Ponikowski P, Woźniewski M. Znaczenie treningu oporowego w redukcji mięśniowych następstw niewydolności serca. *Kardiologia Polska* 2008, 66: 434–442.
89. Welch JF, Archiza B, Guenette JA, West CR, Sheel AW. Sex differences in diaphragmatic fatigue: the cardiovascular response to inspiratory resistance. *J Physiol.* 2018, 596(17): 4017-4032.
90. Welch JF, Archiza B, Guenette JA, West CR, Sheel AW: Effect of diaphragm fatigue on subsequent exercise tolerance in healthy men and women. *J Appl Physiol* 2018, 125: 1987-1996.
91. Welch JF, Kipp S, Sheel AW. Respiratory muscles during exercise: mechanics, energetics, and fatigue. *Curr. Opin. Physiol.*, 2019, 10: 102-109.

92. Wells GD, Norris SR. Assessment of physiological capacities of elite athletes and respiratory limitations exercise performance. *Paediatr Respir Rev* 2009, 10: 91-98.
93. West CR, Taylor BJ, Campbell IG, Romer LM. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sports* 2014, 24 (5): 764-772.
94. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol.* 2007, 1, 584(Pt 3): 1019-1028.
95. Yañez-Sepulveda R, Alvear-Ordenes I, Tapia-Guajardo A, Verdugo-Marchese H, Cristi-Montero C, Tuesta M. Inspiratory muscle training improves the swimming performance of competitive young male sprint swimmers. *J Sports Med Phys Fitness.* 2021, 61(10): 1348-1353.
96. Yost LJ, Zauner CW, Jaeger MJ. Pulmonary diffusing capacity and physical working capacity in swimmers and non-swimmers during growth. *Respiration.* 1981, 42:8-14.

## **STRESZCZENIE**

**TYTUŁ:** Trening mięśni wdechowych w procesie szkolenia niepełnosprawnych pływaków

**SŁOWA KLUCZOWE:** trening mięśni wdechowych; wytrzymałość tlenowa; zmęczenie oddechowe; sportowcy z niepełnosprawnościami

## **WSTĘP**

Trening mięśni wdechowych (IMT) znajduje zastosowanie w różnych dyscyplinach olimpijskich i paraolimpijskich. W powszechnie omawianych metody treningowych brakuje uzupełnienia wiedzy z zakresu efektywności i słuszności stosowania treningu mięśni wdechowych u sportowców z niepełnosprawnością. Prace badawcze bazują na zawężonej ocenie uzyskiwanych efektów bez kompleksowej weryfikacji zmian na poziomie układu oddechowego oraz parametrów wydolnościowych wśród sportowców z niepełnosprawnościami. Celem badań była ocena wpływu treningu mięśni wdechowych o wysokiej intensywności dołączonego do standardowego treningu pływackiego na wentylację płuc, siłę mięśni wdechowych i poziom wytrzymałości tlenowej oraz stan wytrenowania zawodników z niepełnosprawnością uprawiających pływanie. Postawiono następującą hipotezę badawczą: włączenie treningu mięśni wdechowych o średniej intensywności zwiększa wentylację płuc, siłę mięśni wdechowych i poziom wytrzymałości tlenowej oraz stan wytrenowania zawodników z niepełnosprawnością uprawiających pływanie.

**MATERIAŁ I METODY BADAWCZE:** Badania wykonano u 18 zawodników Polskiego Związku Sportu Niepełnosprawnych „Start”. Badanych podzielono na 2 grupy, przydział do grup był randomizowany wg tablicy rozkładu: I grupa (grupa IMT) - zawodnicy wykonujący standardowy trening pływacki z dołączonym treningiem mięśni wdechowych o średniej intensywności na poziomie obciążenia 50% MIP; II grupa (grupa sham-IMT) - zawodnicy wykonujący standardowy trening pływacki z dołączonym treningiem mięśni wdechowych o niskiej intensywności na poziomie obciążenia 15% MIP. U wszystkich badanych zastosowano ośmiodniowy trening mięśni wdechowych na osobistych urządzeniach PowerBreath KH1. U każdego zawodnika zostały



przeprowadzone następujące badania: pomiar cech somatycznych: wysokość i masa ciała; badanie czynnościowe układu oddechowego, badanie maksymalnego ciśnienia wdechowego (MIP) i wydechowego (MEP), badanie poziomu wytrenowania zawodników – test T-30; test schodkowy - test progresywny 8 x 100; skala subiektywnego odczuwania wysiłku – Borg RPE scale. Wszystkie badania wykonano 3 krotnie: I – przed rozpoczęciem treningu mięśni wdechowych, II – po zakończeniu treningu mięśni wdechowych (po 8 tygodniach), III – po głównych zawodach pływackich (po ok 2 miesiącach od zakończonego cyklu treningu mięśni wdechowych: follow – up). Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej programem STATISTICA PL V.12.0. W podstawowych charakterystykach opisowych dla cech mierzalnych wyliczono średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe. Analizę wyników rozpoczęto od sprawdzenia normalności rozkładu badanych parametrów we wszystkich grupach. Po sprawdzeniu normalności rozkładu testem Shapiro-Wilka, została podjęta decyzja o rodzaju stosowanych testów statystycznych. Dla cech o rozkładzie normalnym wykonano analizę wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami i test post-hoc (NIR). Do określenia wpływu zmienności wydolności pływania mierzonej testem T-30 posłużono się analizą regresji wielokrotnej. W zastosowanych testach statystycznych wartości testów i współczynników na poziomie  $p < 0,05$ .

**WYNIKI:** Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotny wzrost wartości VC, FVC, FEV<sub>1</sub>, PEF, MEF50, MVV tylko w grupie I po zastosowanym treningu mięśni wdechowych. Także w grupie I zaobserwowano utrzymanie się wyników w trzecim badaniu (follow-up), które były istotnie wyższe w porównaniu do wyniku z badania 1. Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotny wzrost wartości MIP oraz MEP zarówno w kPa jak i w % wartości należnej w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Jednocześnie stwierdzono istotny wzrost dystansu przepełnionego podczas testu T-30 tylko w grupie I po zastosowanym treningu IMT. Ponadto analiza statystyczna wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy pierwszym a trzecim pomiarem w grupie I i utrzymanie efektu w badaniu follow-up. Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotne obniżenie stężenia kwasu mlekowego w grupie I po IMT. Ponadto stwierdzono istotne obniżenie częstości akcji serca na poziomie 88% i 93% prędkości maksymalnej w grupie I po zastosowanym treningu. Największy udział w zmienności wyniku testu T-30 miała

wysokość ciała i siła mięśni wdechowych (MIP), które odpowiadały za około 80% zmienności. Znaczący wpływ miał również stopień zmęczenia mierzony skalą Borga i w najmniejszym stopniu wartość parametru MEF50.

**WNIOSKI:** Trening mięśni wdechowych z obciążeniem 50% MIP istotnie zwiększył parametry czynnościowe układu oddechowego i siłę mięśni oddechowych pływaków z niepełnosprawnościami. Stwierdzono pozytywne odległe efekty zastosowanie treningu z obciążeniem 50% MIP w utrzymaniu osiągniętych poziomów parametrów czynnościowych układu oddechowego. Zastosowanie treningu o średniej intensywności znacząco obniżyło reakcję zmęzeniową na wysiłek ocenianą według skali Borga. Trening mięśni wdechowych o wyższej intensywności istotnie poprawił poziom wytrenowania badanych zawodników, co związane było z wydłużeniem dystansu pływania. Zastosowanie treningu mięśni wdechowych o średniej intensywności znacząco obniżył poziom kwasu mlekowego w teście progresywnym. Trening o wyższej intensywności znamienne obniżył częstość akcji serca w teście progresywnym 8x100 na poziomie 88% i 93% prędkości maksymalnej poprawiając wytrzymałość tlenową zawodników. Na uzyskanie wysokiego poziomu wytrenowania ocenianego testem T-30 miała wpływ wysokość ciała, MIP, skala Borga oraz MEF 50. Zastosowanie treningu mięśni wdechowych o średniej intensywności skutecznie poprawiło poziom wytrenowania i parametry fizjologiczne wysiłku pływaków. Wskazuje to na potrzebę włączenia tego rodzaju treningu do standardu przygotowania zawodniczego sportowców z niepełnosprawnościami.

## **ABSTRAKT ( streszczenie w języku angielskim)**

### **ABSTRACT**

**TITLE:** Inspiratory muscle training in the training process of disabled swimmers

**KEYWORDS:** inspiratory muscle training; aerobic endurance; respiratory fatigue; disabled athletes

**INTRODUCTION:** Inspiratory Muscle Training (IMT) has found application in various Olympic and Paralympic disciplines. The commonly discussed training methods lack the knowledge of the effectiveness and validity of the use of inspiratory muscle training in athletes with disabilities. The research work is based on a narrow assessment of the effects obtained without comprehensive verification of changes at the level of the respiratory system and performance parameters among athletes with disabilities. The aim of the study was to evaluate the effects of high-intensity inspiratory muscle training included in standard swimming training on lung ventilation, inspiratory muscle strength and aerobic endurance levels, and the fitness status of swimmers with disabilities. The following research hypothesis was formulated: the inclusion of medium-intensity inspiratory muscle training increases lung ventilation, inspiratory muscle strength and the level of aerobic endurance, and the training status of swimmers with disabilities.

**MATERIAL AND METHODS:** The research covered a group of 18 players of the Polish Disabled Sports Association "Start". The players were qualified for the research program by the staff coach and the research experiment manager on the basis of specific inclusion criteria. In order to gather the most homogeneous group of respondents, a number of qualifying (inclusion) and disqualifying (exclusion) criteria for competitors were established. The subjects were divided into 2 groups, the allocation to the groups was randomized according to the distribution table: Group I (IMT group) - athletes performing standard swimming training with the addition of inspiratory muscles training of average intensity at the load level of 50% MIP; Group II (sham-IMT group) - competitors performing standard swimming training with the accompanying low-intensity inspiratory muscle training at the load level of 15% MIP. All subjects underwent eight-week inspiratory muscle training on personal PowerBreath KH1 devices. The following tests were performed on each competitor: measurement of somatic features: height and weight; functional test of the respiratory system, test of maximum inspiratory pressure (MIP) and

expiratory pressure (MEP), test of players' training level - T-30 test; step test - 8 x 100 progressive test; the scale of subjective feeling of effort - Borg RPE scale. All tests were performed 3 times: I - before starting inspiratory muscles training, II - after completing the inspiratory muscles training (after 8 weeks), III - after the main swimming competition (about 2 months from the end of the inspiratory muscle training cycle: follow-up) . The results of the research were statistically analyzed using the STATISTICA PL V.12.0 program. In the basic descriptive characteristics, the arithmetic mean and standard deviation were calculated for the measurable characteristics. The analysis of the results began with checking the normality of the distribution of the examined parameters in all groups. After checking the normality of the distribution with the Shapiro-Wilk test, a decision was made on the type of statistical tests used. For the normally distributed features, ANOVA with repeated measures and a post-hoc test (NIR) were performed. Step regression analysis was used to determine the effect of the variability of swimming performance measured with the T-30 test. In the statistical tests used, the test values and coefficients at the level of  $p < 0.05$ .

**RESULTS:** Based on the analysis of variance, a significant increase in the values of VC, FVC, FEV<sub>1</sub>, PEF, MEF50, MVV was found only in group I after the applied inspiratory muscle training. Also in group I, the results in the third study (follow-up) were maintained, which were significantly higher compared to the results from study 1. Based on the analysis of variance, a significant increase in the MIP and MEP values was found, both in kPa and in% of the predicted value in the group And after the IMT training applied. At the same time, a significant increase in the distance traveled during the T-30 test was found only in group I after the IMT training. Moreover, the statistical analysis showed statistically significant differences between the first and third measurement in group I and the maintenance of the follow-up effect. Based on the analysis of variance, a significant decrease in lactic acid concentration was found in group I after IMT. Moreover, a significant reduction in heart rate was found at the level of 88% and 93% of the maximum speed in group I after the applied training. Body height and inspiratory muscle strength (MIP) accounted for approximately 80% of the variability that contributed most to the variability of the T-30 test result. The degree of fatigue measured with the Borg scale and the value of the MEF50 parameter, to the least extent, also had a significant impact.

**CONCLUSIONS:** Training of inspiratory muscles with a load of 50% MIP significantly increased the functional parameters of the respiratory system and the strength of the respiratory muscles in swimmers with disabilities. Positive long-term effects of training with 50% MIP load in maintaining the achieved levels of functional parameters of the respiratory system were found. The use of medium-intensity training significantly reduced the fatigue response to exercise, assessed according to the modified Borg scale. Training of the inspiratory muscles with a medium intensity significantly improved the level of training of the studied players, which was associated with the extension of the swimming distance. The use of medium intensity inspiratory muscle training significantly lowered lactic acid levels in the progressive test. Training with a higher intensity significantly lowered the heart rate in the 8x100 progressive test at the level of 88% and 93% of the maximum speed, improving the aerobic endurance of the players. Body height, MIP, Borg scale and MEF 50 influenced the achievement of a high level of training assessed by the T 30 test. The use of inspiratory muscle training with medium intensity effectively improved the level of training and physiological parameters of the swimmers' exercise. This indicates the need to include this type of training in the standard of professional preparation of athletes with disabilities.

## SPIS RYCIN

Rycina 1. Projektowanie przebiegu eksperymentu (opracowanie własne).....	22
Rycina 2. Średnie wartości i odchylenia standardowe pojemności życiowej (VC) wyrażonej w litrach w badanych grupach.....	32
Rycina 3. Średnie wartości i odchylenia standardowe pojemności życiowej (VC) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach.....	33
Rycina 4. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej pojemności życiowej (FVC) wyrażonej w litrach w badanych grupach .....	34
Rycina 5. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej pojemności życiowej (FVC) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach .....	35
Rycina 6. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV <sub>1</sub> ) wyrażonej w l w badanych grupach.....	36
Rycina 7. Średnie wartości i odchylenia standardowe natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV <sub>1</sub> ) wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach .....	37
Rycina 8. Średnie wartości i odchylenia standardowe tzw. wskaźnik <i>pseudo - Tiffeneau</i> w badanych grupach .....	38
Rycina 9. Średnie wartości i odchylenia standardowe szczytowego przepływu wdechowego wyrażonego w l/s w badanych grupach .....	39
Rycina 10. Średnie wartości i odchylenia standardowe szczytowego przepływu wydechowego płuc wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach.....	40
Rycina 11. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego przepływu wydechowego przy 50% natężonej pojemności życiowej wyrażony w l/s w badanych grupach.....	40
Rycina 12. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego przepływu wydechowego przy 50% natężonej pojemności życiowej wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach .....	41
Rycina 13. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnej dowolnej wentylacji wyrażonej w l/min w badanych grupach .....	42

Rycina 14. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnej dowolnej wentylacji wyrażonej w % wartości należnej w badanych grupach.....	43
Rycina 15. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalne ciśnienia wdechowego wyrażonego w kPa w badanych grupach.....	45
Rycina 16. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wdechowego wyrażonego w % wartości należnej w badanych grupach.....	46
Rycina 17. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wydechowego wyrażonego w kPa w badanych grupach.....	47
Rycina 18. Średnie wartości i odchylenia standardowe maksymalnego ciśnienia wydechowego wyrażonego w % wartości należnej w badanych grupach.....	47
Rycina 19. Średnie wartości i odchylenia standardowe dystansu przepłyniętego podczas testu T-30 wyrażonego w metrach w badanych grupach.....	50
Rycina 20. Średnie wartości i odchylenia standardowe skali Borga w badanych grupach	51
Rycina 21. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach .....	52
Rycina 22. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach .....	53
Rycina 23. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach .....	54
Rycina 24. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej wyrażonego w mmol w badanych grupach .....	55
Rycina 25. Średnie wartości i odchylenia standardowe stężenie kwasu mlekowego po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością pływania wyrażonego w mmol w badanych grupach.....	56

Rycina 26. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 77% prędkości maksymalnej w badanych grupach.....	57
Rycina 27. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 83% prędkości maksymalnej w badanych grupach.....	58
Rycina 28. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 88% prędkości maksymalnej w badanych grupach.....	59
Rycina 29. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z prędkością pływania 93% prędkości maksymalnej w badanych grupach.....	60
Rycina 30. Średnie wartości i odchylenia standardowe częstość akcji serca po przepłynięciu 100 m z maksymalną prędkością w badanych grupach .....	61



## SPIS TABEL

Tabela 1. Charakterystyka badanych grup.....	20
Tabela 2. Skala Borga – RPE (Borg, 1970).....	26
Tabela 3. Program treningu mięśni wdechowych dla grupy I (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002).....	29
Tabela 4. Program treningu mięśni wdechowych dla grupy II (Nepomuceno Júniora i wsp., 2016; Romer i wsp., 2002).....	29
Tabela 5. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów czynnościowych układu oddechowego. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR.....	44
Tabela 6. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR .....	49
Tabela 7. Zróźnicowanie średnich wartości badanych parametrów. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów – Prawdopodobieństwa dla testów post-hoc, test NIR.....	62
Tabela 8. Regresja wieloraka dla zmiennej T-30 (2). Statystyki współliniowości dla wyrażeń z równania. Parametryzacja z sigma-ograniczeniami .....	64