

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
IM. POLSKICH OLIMPIJCZYKÓW WE WROCŁAWIU  
WYDZIAŁ FIZJOTERAPII

Witold Pawełczyk

WPŁYW BIOFEEDBACKU ODDECHOWEGO NA EFEKTY FIZJOTERAPII  
CHORYCH NA PRZEWLEKŁĄ OBTURACYJNĄ CHOROBE PŁUC

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Fizjoterapii Klinicznej  
Politechniki Opolskiej

Promotor:  
dr hab. Jan Szczegielniak prof. nadzw.

WROCŁAW 2023

## Spis treści

WYKAZ SKRÓTÓW UŻYWANYCH W TEKŚCIE .....	4
I WSTĘP .....	5
II CEL PRACY .....	16
III PYTANIA BADAWCZE .....	16
IV MATERIAŁ I METODY .....	17
IV 1. Walidacja oraz test powtarzalności pomiarów .....	17
IV 1. 1. Charakterystyka badanej grupy .....	17
IV 1. 2. Kryteria wyłączenia .....	17
IV 1. 3. Metody .....	17
IV 1. 3. 2. Badanie walidacyjne .....	19
IV 1. 3. 3. Badanie powtarzalności .....	20
IV 2. Badanie kliniczne .....	23
IV 2. 1. Charakterystyka badanej grupy .....	23
IV 2. 2. Kryteria włączenia i wyłączenia z badań .....	24
IV 2. 3. Metody .....	24
IV 2. 3. 1. Ocena ruchu oddechowego piersiowego i brzuszego .....	24
IV 2. 3. 2. Ocena tolerancji wysiłku fizycznego .....	26
IV 2. 3. 3. Ocena duszności .....	28
IV 2. 3. 4. Ocena czynności wentylacyjnej płuc .....	29
IV 2. 3. 5. Kwalifikacja chorych do określonego modelu rehabilitacji pulmonologicznej .....	30
IV 2. 3. 6. Program rehabilitacji pulmonologicznej .....	32
IV 2. 3. 7. Trening biofeedback .....	35
V METODY STATYSTYCZNE .....	36

VI WYNIKI BADAŃ .....	37
VI 1. Walidacja i test powtarzalności.....	37
VI 1. 1. Walidacja urządzenia.....	37
VI 1. 2. Powtarzalność pomiarów .....	38
VI 2. Badanie kliniczne .....	40
VI 2. 1. Analiza porównawcza przed rehabilitacją .....	40
VI 2. 2. Analiza porównawcza wewnątrzgrupowa .....	41
VI 2. 3. Analiza międzygrupowa po rehabilitacji .....	55
VII DYSKUSJA .....	58
VIII WNIOSKI .....	68
IX PIŚMIENNICTWO .....	69
STRESZCZENIE.....	84
<b>ABSTRACT</b> .....	87
SPIS RYCIN .....	89
SPIS TABEL.....	90

## WYKAZ SKRÓTÓW UŻYWANYCH W TEKŚCIE

**BMI** (*body mass index*) - wskaźnik masy ciała

**CRQ** (*Chronic Respiratory Questionnaire*) - kwestionariusz przewlekłych chorób oddechowych

**FEV<sub>1</sub>** (*forced expiratory volume in one second*) - natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa

**FEV<sub>1</sub>%VC** (*forced expiratory volume in one second % of vital capacity*) - wskaźnik stosunku natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej do pojemności życiowej

**FVC** (*forced vital capacity*) natężona pojemność życiowa

**GOLD** (*global initiative for chronic obstructive lung disease*) - światowa strategia rozpoznawania, leczenia i prewencji przewlekłej obturacyjnej choroby płuc

**HRV** (*heart rate variability*) - zmienność rytmu serca

**MET** (*metabolic equivalent*) - równoważnik metaboliczny

**NYHA** (*New York heart association*) - skala służąca do klasyfikacji ciężkości objawów niewydolności serca

**POChP** - przewlekła obturacyjna choroba płuc

**RP** - rehabilitacja pulmonologiczna

**6MWT** - test 6-minutowego marszu

**VC** (*vital capacity*) - pojemność życiowa

**WHO** (*World Health Organization*) - Światowa Organizacja Zdrowia

## I WSTĘP

Przyjmuje się, iż wraz ze wzrostem globalnej populacji coraz częściej będą występowały choroby przewlekłe, związane ze starzeniem się społeczeństw i powszechnością nałogu tytoniowego, takie jak przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP). POChP jest obecnie jedną z wiodących przyczyn śmierci na świecie, a prognozy wskazują na jej coraz większe rozpowszechnienie w przyszłości (Lopez-Campos i wsp., 2016).

Szacuje się, iż aktualnie POChP dotyka w skali globalnej 10% dorosłego społeczeństwa (Agusti i wsp., 2020). Obecnie na świecie żyje około 384 milionów osób ze zdiagnozowaną POChP, a roczne koszty ich leczenia sięgają około 100 miliardów dolarów (Sandelovsky i wsp., 2021). W Europie według szacunków na POChP może chorować 4-10% dorosłych osób (Halbert i wsp., 2006). W Polsce problem dotyczy co dziesiątego mieszkańca po 40 roku życia. Występowanie choroby nie jest równomierne w każdym regionie i zależy od czynników ryzyka, na przykład w Małopolsce odnotowano występowanie choroby na poziomie 22,1%. W badaniach stwierdzono również zmniejszenie występowania objawów chorobowych wraz z wyższym poziomem wykształcenia (Nizankowska –Mogilnicka i wsp., 2007).

Wydaje się, że choć POChP jest tak poważną, przewlekłą chorobą, stanowiącą również duże obciążenie finansowe, wciąż jest ignorowana i lekceważona przez systemy opieki zdrowotnej i osoby rządzące (Rabe i wsp., 2007).

Wskaźnik śmiertelności oceniany jest na 11% wśród osób, które potrzebują hospitalizacji, 5-50% wśród korzystających z wentylacji mechanicznej i rośnie do 37% przy pogarszających się zaostrzeniach (Halpin i wsp., 2012). W Polsce w wyniku POChP oraz jej powikłań umiera rocznie ok. 15000 osób, a wynik będzie zwiększał się w kolejnych latach (Niepsuj i wsp., 2002). Wskazuje się, iż wskaźnik śmiertelności osób chorych na POChP w kolejnych latach dalej będzie dodatni, a wielu uważa, że obecnie prezentowane wartości są niedoszacowane (Sinn i wsp., 2006). W szwedzkich badaniach prowadzonych na 1237 dorosłych mężczyznach u 14% wykazano w badaniu spirometrycznym oraz fizykalnym zaburzenia typowe dla POChP, natomiast diagnozę miało postawione mniej niż 1/3 z nich (Lundback i wsp., 2003). Tego typu badania

sugerują, że rejestrowane liczby zgonów na POChP mogą być zaniżone (Drummond i wsp., 2010).

Bezpośrednią przyczynę zgonu wśród chorych na POChP stanowią problemy sercowo-naczyniowe, nowotwory płuc oraz problemy z oddychaniem (Berry i Wise, 2010). Sytuację chorych na POChP komplikują często choroby współistniejące. Mają one nie tylko negatywny wpływ na jakość życia, nasilanie się objawów, ale również na śmiertelność (Cavaillès i wsp., 2013). Choroby współistniejące dotyczą głównie układu krążenia, oddechowego, kostno-szkieletowego. Wykazano liczne dowody, iż choroba niedokrwienna serca, zwłóknienia płuc, nowotwory płuc, cukrzyca czy choroba wrzodowa są negatywnymi czynnikami prognostycznymi (Smith i Wrobel, 2014)

Według GOLD POChP powoduje zmiany, które przyczyniają się do powstania niecałkowicie odwracalnych zmian w organizmie, w tym ograniczenie przepływu powietrza przez drogi oddechowe (Nici i wsp., 2006). Sposób definiowania POChP przez GOLD wskazuje, iż jest ona chorobą systemową o charakterze lokalnego i ogólnego zapalenia z towarzyszącymi licznymi chorobami współistniejącymi (Vogelmeier i wsp., 2017). Zapalenie powoduje zmiany miejscowe w obrębie układu oddechowego oraz zmiany ogólne, pozapłucne. Wzrost stresu oksydacyjnego oraz stężenia cytokin prozapalnych są czynnikiem podtrzymującym i pogłębiającym stan zapalny (Batura-Gabryel i Kamińska-Kuźnar, 2007; Fabbri i wsp., 2008; Rabe i wsp., 2007).

U chorych na POChP dochodzi do stopniowej utraty beztłuszczowej masy ciała (głównie mięśni szkieletowych) przy względnym utrzymaniu masy tłuszczowej na stałym poziomie. Tłumaczy się to wzrostem stężenia cytokin prozapalnych (Fabbri i wsp., 2008). Na wczesnym etapie choroby dochodzi do wzmożonej syntezy i degradacja białka. W miarę rozwoju choroby mięśnie szkieletowe są osłabione, a ich masa ulega zmniejszeniu z powodu zaburzonego składu włókien mięśniowych, atrofii oraz zaburzeń aktywności enzymów (Kuźnar-Kamińska i wsp., 2008). Istotnym czynnikiem katabolicznym jest redukcja aktywności mięśni, wtórna w stosunku do duszności. Wraz z postępem choroby do osłabienia mięśni coraz mocniej przyczynia się zmniejszenie syntezy białek oraz wzmożona proteoliza, wywołana zmniejszoną aktywnością fizyczną pacjenta, przewlekłym stanem zapalnym, hipoksemią i obniżeniem poziomu hormonów anabolicznych (Barnes i wsp., 2003; Chatila i wsp., 2008).

Do najczęstszych objawów POChP należą uciążliwy kaszel, duszność, produkcja dużej ilości, gęstej wydzieliny. Część chorych skarży się także na ból w klatce piersiowej, trudności w oddychaniu oraz świszczący oddech. Występowanie wymienionych objawów zależy od stopnia zaawansowania choroby (Miravittles i wsp., 2014). Należy zaznaczyć, że pacjenci zgłaszają dobową, tygodniową i sezonową zmienność większości z objawów. Ponad połowa chorych uważa, że ich stan jest najgorszy w miesiącach zimowych, co bywa tłumaczone narażeniem na wirusa grypy oraz dużą wilgotnością powietrza. Przyjmuje się, że najczęściej wydzieliny chorzy odkasztuszają w godzinach porannych (Miravittles i Miravittles, 2017).

Podaje się wiele przyczyn występującego kaszlu w POChP. Są to m.in. mediatory zapalne występujące w przewlekłym zapaleniu w drogach oddechowych, zalegająca i drażniąca gęsta wydzielina powodująca odczuwalne ograniczenie przepływu powietrza w drogach oddechowych, czy reakcja na dym tytoniowy. Również niektóre choroby współistniejące mogą być powodem kaszlu. Kaszel produktywny w POChP świadczy o występującej obturacji i wskazuje na możliwość spadku  $FEV_1$  (Smith i Woodcock, 2006). Podaje się również, iż jest istotnym czynnikiem ryzyka zaostrzeń i postępu choroby (Miravittles, 2011).

Duszność definiowana jest jako subiektywne odczucie dyskomfortu oddechowego, na które składają się doznania o różnym stopniu intensywności (Parshall i wsp., 2012). Mechanizmy powstawania duszności są złożone i nie do końca poznane. Jedną z wiodących hipotez jest zakłócenie pomiędzy pobudliwością nerwową związaną z wdechem a dynamiczną odpowiedzią układu oddechowego. W bardziej ogólnym znaczeniu to brak równowagi pomiędzy potrzebą oddechu a możliwością realizacji tej potrzeby (O'Donnell i wsp., 2020). Według szacunków ponad 80% chorych na POChP ma różnego stopnia duszność (Mullerova i wsp., 2014). Duszność jest cechą, która pokazuje w największym stopniu stopień zaawansowania choroby. Duszność wpływa na stan zdrowia, jakość życia i możliwość wykonywania czynności życia codziennego. Ma również wpływ na poziom złości czy depresji. Powiązana jest z ryzykiem zaostrzeń, będąc przy tym czynnikiem prognostycznym (Miravittles i wsp., 2007, Monteagudo i wsp., 2013, Price i wsp., 2013). W celu uniknięcia duszności wysiłkowej chorzy przystosowują się do sedenteryjnego trybu życia, co prowadzi do osłabienia mięśni szkieletowych, izolacji

społecznej czy problemów natury psychicznej. Tzw. „spirala duszności” prowadząca do coraz mocniejszego nasilenia objawów została dobrze udokumentowana naukowo (O’Donell i wsp., 2020).

Poważnym problemem u chorych są narastające, wieloaspektowe zaburzenia mechaniki oddychania. Zachowanie efektywnej mechaniki płuc wymaga właściwego przebiegu obu faz oddechowych. Podczas wdechu dochodzi do trójplaszczynowego powiększenia się wymiarów klatki piersiowej, dzięki pracy przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych (Chaitow i wsp., 2013). W przebiegu choroby dochodzi do spłycenia oddechu i rozdęcia płuc. Chory włącza pomocnicze mięśnie oddechowe, głównie mostkowo-obojczykowo-sutkowe, dla wyrównania oddechu. Występujące w zaawansowanym stadium rozdęcie płuc daje obraz beczkowatego ustawienia klatki piersiowej, powiększenie wymiaru przednio-tylnego klatki piersiowej, poziome ustawienie żeber i zwiększenie przestrzeni między nimi (Egan i wsp., 2012, Vestbo i wsp., 2013). Zaburzenia mechaniki oddychania i nieefektywny mechanizm wymiany gazowej w płucach przyczyniają się do zwiększonej pracy oddechowej w POChP. Mięśnie oddechowe pracują na granicy swej maksymalnej wydolności, próbując zaspokoić popyt organizmu na tlen. Takie warunki panują u chorych nawet w spoczynku (Loring i wsp., 2009).

U pacjentów z POChP dochodzi jednocześnie do nadmiernego rozciągnięcia oraz osłabienia mięśni oddechowych, co wpływa na poziom duszności i wydolność wysiłkową (Alter i wsp., 2017; Ambrosino i wsp., 2007). Wykazano, że rozdęcie płuc, połączone ze wzrastającą obturacją dróg oddechowych i wzrastającym popytem oddechowym wyczerpuje rezerwy krążeniowo-oddechowe, szczególnie w zaawansowanym stadium POChP (O’Donnell i wsp., 2001).

U chorych na POChP wskazano na częste połączenie patologii mechanizmów oddychania i połykania. Mechanizm ten, z nie do końca poznanych przyczyn u chorych zawodzi, powodując większe ryzyko aspiracji treści pokarmowych do dróg oddechowych, co zwiększa średnią liczbę powikłań i hospitalizacji (Cvejic i Bardin, 2021).

Obecnie coraz mocniej zaznacza się konieczność opracowywania strategii leczenia POChP, aby zmniejszyć postęp choroby i poprawić wskaźniki prognostyczne, dotyczące jakości i długości życia pacjenta. Jest to również konieczne w celu zmniejszenia kosztów ponoszonych przez służbę zdrowia oraz mniejszego obciążenia socjoekonomicznego



społeczeństw (Mantero i wsp., 2018). Uważa się, że fizjoterapia jest skuteczną strategią postępowania w chorobach krążeniowo-oddechowych, redukując duszność i polepszając tolerancję wysiłku fizycznego (Puhan i wsp., 2016).

Według American Thoracic Society oraz European Respiratory Society rehabilitacja pulmonologiczna definiowana jest jako wszechstronne działanie oparte na badaniu chorego i stosowaniu odpowiednio dobranych terapii, które zawierają ćwiczenia fizyczne, edukację, zmianę nawyków. Stworzona jest do poprawy fizycznego i psychicznego stanu chorych cierpiących na przewlekłe choroby płuc oraz aby promować długoterminowe przestrzeganie zachowań prozdrowotnych (Spruit i wsp., 2014)

Za nadrzędny cel rehabilitacji pulmonologicznej przyjmuje się poprawę jakości życia i zmniejszenie negatywnych skutków choroby. Światowa Inicjatywa Zwalczania Przewlekłej Obturacyjnej Choroby Płuc GOLD w raporcie z 2015 roku przedstawiła korzyści płynące ze stosowania u chorych na POChP rehabilitacji pulmonologicznej. Wśród nich znalazła się poprawa wydolności wysiłkowej, zmniejszenie duszności, zmniejszenie liczby zaostrzeń choroby i hospitalizacji (Celli i wsp., 2015; GOLD, 2014; Lacasse i wsp., 2006). Wykazano, iż wczesne zakwalifikowanie chorego do programu rehabilitacji pulmonologicznej może spowolnić rozwój choroby, a pozytywne skutki rehabilitacji widoczne są u wszystkich chorych (Jacome i Marques, 2016; Lacasse i wsp., 2007). Dlatego możliwość udziału w programie rehabilitacji pulmonologicznej powinna być zapewniona każdemu choremu (Gloeckl i wsp., 2013). Jednak nie we wszystkich krajach zapewnia się łatwy i bezpłatny dostęp do rehabilitacji pulmonologicznej (Rochester i wsp., 2015)

Kompleksowe leczenie chorych na POChP powinno obejmować: rehabilitację, leczenie farmakologiczne zmniejszające intensywność objawów oraz zaostrzeń choroby, pomoc w rzuceniu nałogu tytoniowego, psychoterapię oraz tlenoterapię (Casaburi i ZuWallack, 2009). Zaznacza się duże znaczenie treningu podnoszącego wydolność fizyczną. Chorzy na POChP są mniej aktywni ruchowo niż ich sprawni rówieśnicy (Arne i wsp., 2009, Vorrink i wsp., 2011). Ich poziom aktywności obniża się również wraz z postępem choroby i wiekiem (Bohannon, 2007; Troosters i wsp., 2010; Watz i wsp., 2009).

W dostępnej literaturze nie ma zgodności co do długości trwania programu rehabilitacji pulmonologicznej. Większość badań ocenia skuteczność dłuższych

programów rehabilitacji, a jedynie nieliczne odnoszą się do programów 3 i 4-tygodniowych (Ali i wsp., 2014; Dourado i wsp., 2009; Rochester, 2003). Badający zgadzają się jednak, że program powinien trwać tak długo, aby wywołał pozytywne, mierzalne korzyści w stanie zdrowia chorego i zachęcił chorego do kontynuowania ćwiczeń po zakończeniu programu (Cameron-Tucker i wsp., 2014). W piśmiennictwie nie ma również zgodności co rodzaju i intensywności interwencji wpływających na poprawę mechaniki oddychania. Blair uważa, że intensywność ćwiczeń w rehabilitacji chorych powinna być ściśle dawkowana, tak samo jak dawkuje się leki (Blair i wsp., 2012). Wielkość wysiłku fizycznego powinna być odpowiednio dostosowana do indywidualnych możliwości i potrzeb chorego. Intensywność wysiłku powinna stymulować reakcje adaptacyjne i kompensacyjne (Osiadło i Dzierżęga, 2007; Szczegielniak i wsp., 2021).

Uważa się, iż jednym z najistotniejszych elementów programu rehabilitacji pulmonologicznej są ćwiczenia oddechowe. Ćwiczenia oddechowe definiowane są jako techniki, mogące umożliwić poprawienie funkcji wdechowych lub wydechowych, zmieniać częstotliwość, wzorzec bądź mechanikę oddychania. Do głównych grup ćwiczeń należą ćwiczenia mięśni wdechowych, ćwiczenia mięśni wydechowych, ćwiczenia mobilizujące pracę przepony. Ćwiczenia takie mogą być z wykorzystaniem bądź bez zewnętrznych urządzeń, w spoczynku lub podczas aktywności (Holland i wsp., 2012).

Jedną z częściej badanych technik ćwiczeń oddechowych jest dmuchanie na płomień świecy przez zaciśnięte usta. Wykazano, iż dmuchanie przez zaciśnięte usta może korzystnie wpłynąć na zmniejszenie częstotliwości oddechów oraz poprawić funkcję płuc (Marciniuk i wsp., 2011). Wykazano długoterminowy efekt stosowania tej techniki na zmniejszenie duszności u chorych na POChP (Roberts i wsp., 2017).

Porównywano również trening oparty na ćwiczeniach oddechowych z treningiem z użyciem aparatu Threshold. Wykazano, iż ćwiczenia oddechowe pomagają kontrolować oddech podczas późniejszych aktywności fizycznych (Borge i wsp., 2014).

W dostępnym piśmiennictwie można znaleźć również publikacje na temat użycia aparatu typu Flutter w celu uzyskania efektu sprzężenia zwrotnego podczas treningu chorych na POChP. Pierwsze wersje tego aparatu, które może pomóc choremu usunąć nadmiar wydzieliny z drzewa oskrzelowego, nie zapewniały możliwości sprzężenia zwrotnego. Obecnie bada się zmodyfikowane urządzenia, dające choremu informację

zwrotną w postaci wizualnej, słuchowej lub wizualnej i słuchowej jednocześnie (Kaja i wsp., 2020).

W dostępnym piśmiennictwie brakuje jednoznacznych dowodów na wpływ ćwiczeń zwiększających mobilność przepony na tolerancję wysiłku fizycznego określaną w teście 6MWT, śmiertelność czy duszność (Davachi i wsp., 2014, Yamaguti i wsp., 2009). W kilku publikacjach stwierdzono zależności pomiędzy funkcją płuc a aktywnością ruchu oddechowego brzuszno. (Davachi i wsp., 2014; Scott i wsp., 2006; Yamaguti i wsp., 2009). Wskazano, iż ruchomość brzuszna wynikająca z aktywności przepony jest zmniejszona u chorych na POChP w stopniu umiarkowanym i w stopniu ciężkim (Davachi i wsp., 2014). Te wyniki potwierdzają hipotezę, iż mniejsza mobilność przepony jest powiązana ze stopniem ciężkości choroby (Rocha i wsp., 2017)

Wykazano, iż chorzy na POChP w wieku podeszłym mają mniejszą mobilność przepony niż ich zdrowi rówieśnicy (Yamaguti i wsp., 2009). Potwierdzono to również w badaniach ultrasonograficznych, wskazując na mniejszą ruchomość przepony u chorych na POChP. Wykazano jednocześnie korelację z mniejszą wydolnością fizyczną i zwiększoną dusznością ocenianą w teście 6MWT (Paulin i wsp., 2007). Problem unaocznili jeszcze mocniej próby z wykorzystaniem badania rentgenowskiego klatki piersiowej. Stwierdzono, że obniżoną mobilność przepony wysoko koreluje z obturacją dróg oddechowych, rozdęciem płuc, zmniejszoną pojemnością oddechową płuc oraz dusznością (Rocha i wsp., 2017).

W badaniach oceniających mobilność przepony porównano program treningowy opierający się na oddechu przeponowym, z leczeniem w warunkach domowych. Zanotowano wyraźny wzrost ruchomości brzusznej u chorych trenujących oddech przeponowy. Wykazano także, że efekt przekłada się na wyniki testu 6 minutowego marszu oraz badanie jakości życia, których wartości były zdecydowanie wyższe w grupie uczestniczącej w programie treningowym (Yamaguti i wsp., 2012)

Badano także korelację występowania problemów z mobilnością przepony i kifotyzację postawy chorych na POChP. Wyniki wskazały, że zmniejszona ruchomość przepony może przyczyniać się do pogorszenia postawy a kifotyzacja związana także z wiekiem przyczynia się do pogorszenia pracy przepony (Santana i Albuquerque, 2018).

W dostępnych analizach badano wpływ włączenia treningu mięśni wdechowych do programu usprawniania chorych na oddziałach rehabilitacji pulmonologicznej. Stwierdzono, że trening mięśni wdechowych wpływa pozytywnie na poprawę siły mięśni oddechowych, pojemność czynnościową płuc, zmniejszenie duszności i poprawę jakości życia. U chorych z osłabioną siłą mięśni wdechowych wprowadzenie treningu mięśni oddechowych do programu rehabilitacji zwiększa siłę mięśniową mięśni oddechowych i wydolność wysiłkową (Gosselink i wsp., 2011).

Liczne publikacje naukowe potwierdzają efektywność treningu mięśni oddechowych. Wskazuje się, że trening mięśni wdechowych jest skuteczny, gdy prowadzony jest oddzielnie jak i wtedy gdy jest włączony w kompleksowy program rehabilitacji u chorych z osłabieniem mięśni oddechowych. W badaniach stwierdzono poprawę siły mięśni oddechowych, jakości życia, wydolności wysiłkowej i duszności (Beaumont i wsp., 2018). W dostępnej literaturze porównano wyniki chorych na POChP poddanych standardowemu leczeniu z chorymi trenującymi mięśnie oddechowe w zakresie wpływu treningu na wskaźnik  $FEV_1$ . U chorych u których stwierdzono osłabienie siły mięśni oddechowych nie wykazano istotnej różnicy w zmianie wartości wskaźnika  $FEV_1$  po rehabilitacji. Odnotowano natomiast różnicę u chorych, u których nie stwierdzono osłabienia mięśni oddechowych (Basso-Vanelli i wsp., 2020). Odnotowano zwiększenie dystansu w teście 6MWT po treningu mięśni oddechowych. W badaniach, w których analizowano wyłącznie osoby z osłabieniem siły mięśni oddechowych przyrost dystansu w 6MWT był istotnie wyższy, niż w grupie z prawidłową siłą mięśni oddechowych. Oceniano również zmianę dystansu w 6MWT u chorych, którzy uczestniczyli w kompleksowych programach rehabilitacji pulmonologicznej, zawierających trening mięśni oddechowych, lecz nie wykazano istotnej różnicy pomiędzy grupami. Badając zmianę duszności, wykazano poprawę jedynie u chorych, u których stwierdzono ograniczenie siły mięśni oddechowych. Stwierdzono, że trening mięśni oddechowych wpływa pozytywnie na siłę mięśni oddechowych, tolerancję wysiłku fizycznego i funkcję płuc (Basso-Vanelli i wsp., 2020). Również w innych analizach stwierdzono zwiększenie dystansu w teście 6MWT u chorych, u których zastosowano program treningu mięśni oddechowych (Yun i wsp., 2021).

Biorąc pod uwagę szereg korzyści, które niesie ze sobą trening oddechowy, w tym ten zawierający ćwiczenia ruchu oddechowego brzuszno, badacze kontynuują poszukiwania formy treningu, który prezentuje parametry oddechowe w zrozumiałej i bardziej atrakcyjnej dla ćwiczącego formie. Wydaje się, że takie kryteria mogłyby spełniać trening oparty na efekcie biofeedbacku.

W piśmiennictwie mianem biofeedbacku określa się technikę wykorzystującą specjalne oprzyrządowanie umożliwiające obrazowanie w czasie rzeczywistym procesów psychologicznych i fizjologicznych, z których istnienia osoba nie zdaje sobie sprawy, a które można świadomie kontrolować. W normalnych warunkach ta informacja biologiczna pozostałaby niezauważona (Olate i wsp., 2001, Thomson i Thomson, 2012). W biofeedbacku najczęściej używa się dwóch strategii do prezentacji mierzonych zmiennych biomedycznych. Biofeedback bezpośredni prezentuje kontrolującemu konkretne zmierzone wartości, jak na przykład częstotliwość skurczów serca czy temperaturę. Biofeedback pośredni przetwarza sygnał na zrozumiałą dla pacjenta informację, jak na przykład sygnał audio czy obraz (Giggins i wsp., 2013).

W dostępnym piśmiennictwie większość badań odnoszących się do wykorzystania biofeedbacku dotyczy rehabilitacji neurologicznej i ortopedycznej. Według niektórych biofeedback jest obiecującą strategią leczenia deficytów biomechanicznych w zakresie chodu u chorych po przebytym udarze mózgu. Aktualne wyniki badań są niejednoznaczne, a różne efekty związane są z wieloma czynnikami wpływającymi na parametry chodu. Poza tym w badaniach wykorzystywane są różne rodzaje biofeedbacku i różne rodzaje wizualizacji wyników (Spencer i wsp., 2021). W reedukacji chodu po udarze mózgu najczęściej stosowany jest biofeedback oparty na sygnałach dźwiękowych bądź wizualnych. Badano również możliwość zastosowania innych rodzajów sygnałów, jak dotykowych czy wibracyjnych (Genthe i wsp., 2018; Hollands i wsp., 2012). Przyjmuje się, że czujniki biofeedbacku zakładane chorym na czas treningu są przyjazne dla użytkowników, nie krępują ruchów i nie skupiają uwagi chorych na nich. Możliwość uzyskiwania poprawy parametrów chodu podczas treningu przy użyciu biofeedbacku, uznano za metodę tańszą niż inne stosowane tradycyjnie w tym celu techniki. (Porciuncula i wsp., 2018).

Porównywano m.in. program rehabilitacji dla chorych z porażeniem połowicznym po udarze mózgu z programem wzbogaconym o trening na bieżni ruchomej opartym o wizualny biofeedback. Program rehabilitacji w grupie kontrolnej zawierał konwencjonalne ćwiczenia chodu, nadzorowane i prowadzone przez fizjoterapeutę. Po zakończeniu programu wykazano w grupie trenującej chód z użyciem biofeedbacku istotny wzrost długości kroku, prędkości marszu, przebytego dystansu i równowagi statycznej. Chorzy w grupie badanej dzięki poprawie jakości chodu byli bardziej niezależni od urządzeń wspomagających chód. (Kaźmierczak i wsp., 2022).

Badaniom poddano chód u chorych z hemiplegią po udarze mózgu, przy wykorzystaniu biofeedbacku wizualnego, podczas 3-tygodniowego programu treningowego. Poprawa funkcjonowania stawu biodrowego i kolanowego była wyższa w grupie trenującej z użyciem biofeedbacku. Wykazano, że trening ten był dobrze odbierany przez ćwiczących (Skvortsov i wsp., 2021).

Przyjmuje się, że pierwsze aplikacje biofeedbacku stosowano w rehabilitacji neurologicznej. Analiza piśmiennictwa wskazuje na konieczność opracowywania nowych, bardziej dokładnych, wygodnych dla chorego i łatwiejszych w użyciu urządzeń. Khoo opracował urządzenie, oparte na biofeedbacku, które poprzez sygnały dźwiękowe sprzężone ze stymulującą zmysłu czucia koryguje chód chorych po przebytych udarach mózgu. Urządzenie ma możliwość pomiaru ogólnego czasu chodu, czasu fazy przenoszenia i kontaktu kończyny z podłożem, wykrywając w czasie rzeczywistym asymetrię pomiędzy kończynami. Wykazano dobrą korelację z innymi, podobnymi urządzeniami, wskazując na przydatność biofeedbacku w poprawie symetrii chodu u chorych po udarze mózgu (Khoo i wsp., 2017).

Wiele uwagi w badaniach poświęcono możliwości użycia biofeedbacku w różnych dysfunkcjach narządu ruchu. Dowody na skuteczność treningu biofeedback w zaburzeniach ortopedycznych pokazują prace przeglądowe na temat stosowania metody w reedukacji chodu u chorych po amputacji kończyny dolnej. W dostępnym piśmiennictwie najczęściej opisuje się biofeedback angażujący zmysł wzroku, następnie zmysł słuchu i dotyku. W przypadku amputacji ten rodzaj treningu pomaga chorym ocenić chód, z uwzględnieniem stopnia symetrii chodu czy obciążania kończyny (Escamilla-Nunez I wsp., 2020).

W literaturze wskazuje się, że dzięki jego zastosowaniu chorzy mogliby łatwiej zrozumieć mechanizmy czynności wentylacyjnej, co umożliwiłoby budowanie motywacji do aktywnego udziału w procesie rehabilitacji. Przyjmuje się, że trening oddechowy powinien być dostosowany do indywidualnych potrzeb pacjenta, powinien być oparty o świadomy udział chorego, a także zapewniać możliwość kontroli techniki i efektów fizjoterapii. Wydaje się, że wymaganiom tym mógłby sprostać trening oddechowy prowadzony metodą biofeedbacku.

Nieliczne publikacje opisują próby użycia biofeedbacku w chorobach układu oddechowego. Dostępne publikacje dotyczą głównie prób poprawy stanu chorego poprzez wpływ treningu biofeedback na zmianę rytmu serca HRV (Heart Rate Variability). W badaniach wskazano na konieczność dalszych badań nad biofeedbackiem HRV u chorych na POChP. Wykazano, że niepokój i lęk towarzyszące POChP jest czynnikiem pośredniczącym pomiędzy wartością wskaźnika HRV a jakością życia chorych. Trening HRV mógłby poprawić jakości życia chorych poprzez obniżenie poziomu niepokoju i stresu (Dekker i wsp., 2000; Lehrer i wsp., 2004; Taghizadeh i wsp., 2019; Wu i wsp., 2022).

Biofeedback stosowany jest coraz powszechniej w fizjoterapii neurologicznej czy ortopedycznej. Brak jednak w literaturze kompleksowych badań nad możliwością zastosowania biofeedbacku u chorych na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc. Wnioski z nielicznych badań często są niejednoznaczne.

Autorzy licznych publikacji sugerują, że forma ćwiczeń oddechowych powinna uwzględniać poprawę zaburzonej mechaniki oddychania, w tym zwiększenie głębokości oddechu, poprawę stosunku wdechu do wydechu, zmianę toru oddechowego. Ocena wpływu biofeedbacku oddechowego na mechanikę oddychania, a przez to na czynność wentylacyjną płuc i tolerancję wysiłku fizycznego byłaby istotnym uzupełnieniem dostępnej wiedzy. Wyniki tych badań mogą pomóc w stworzeniu norm oceny i terapii chorych na POChP przy użyciu biofeedbacku oddechowego, uzupełniając istniejące programy fizjoterapii pulmonologicznej.

## **II CEL PRACY**

W pracy postanowiono ocenić możliwość zastosowania aparatu wykorzystującego biofeedback do pomiaru amplitudy ruchu oddechowego oraz ocenić wpływ programu fizjoterapii z zastosowaniem ćwiczeń wykorzystujących biofeedback na amplitudę ruchu oddechowego oraz tolerancję wysiłku fizycznego, czynność wentylacyjną płuc i duszność u chorych na POChP.

## **III PYTANIA BADAWCZE**

1. Czy pomiary aparatem wykorzystującym biofeedback są powtarzalne i wiarygodne?
2. Czy zastosowanie w programie fizjoterapii treningu oddechowego opartego na biofeedbacku wpłynie na zmianę amplitudy piersiowego i brzuszno-ruchowego oddechowego u badanych chorych na POChP?
3. Czy zastosowanie w programie fizjoterapii treningu oddechowego opartego na biofeedbacku wpłynie u badanych chorych na tolerancję wysiłku fizycznego, wybrane wskaźniki określające czynność wentylacyjną płuc oraz poziom duszności?
4. Czy przyjęta metodyka pomiarów i treningu toru oddechowego może być wykorzystana w fizjoterapii pulmonologicznej?



## **IV MATERIAŁ I METODY**

### **IV 1. Walidacja oraz test powtarzalności pomiarów**

#### **IV 1. 1. Charakterystyka badanej grupy**

Do badania włączono 20 zdrowych osób, studentów kierunku fizjoterapia Wydziału Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii Politechniki Opolskiej (10 kobiet, 10 mężczyzn, średnia wieku 20 lat  $\pm$  1,4 lat, masa ciała 69,8kg  $\pm$  8kg, wzrost 1,7m  $\pm$  0,13m). Badania prowadzono w terminie od sierpnia do listopada 2021 roku.

#### **IV 1. 2. Kryteria wyłączenia**

Kryteria wyłączenia obejmowały:

- zdiagnozowane przewlekłe choroby, w tym choroby pulmonologiczne
- stan po zabiegach torakochirurgicznych i kardiochirurgicznych
- otyłość
- zaburzenia mechaniki oddychania

#### **IV 1. 3. Metody**

Przed przystąpieniem do badań wszystkie osoby badane zostały poinformowane o przebiegu i celu badań. Zostały również zapoznane z aparaturą i procedurami badawczymi. Osoby badane poinformowano o możliwości rezygnacji z badań w dowolnym momencie.

W celu oceny przydatności urządzenia BioGraph Infinity Taught Technology Ltd. do pomiaru amplitudy ruchu oddechowego wykonano badanie walidacyjne oraz test powtarzalności. Do wymienionych prób wykorzystano to samo urządzenie, którym planowano przeprowadzić badanie główne. Aparat BioGraph Infinity składał się z kodera ProComp5 Infinity, oryginalnych pasków do pomiaru amplitudy ruchu oddechowego oraz programu BioGraph Infinity 4.0.



Rycina 1. Koder aparatu BioGraph Infit zbijający dane z czujników

Wszyscy badani uczestniczyli w takim samym protokole badawczym. Kolejność prób pokazano na rycinie 2.

REKRUTACJA

n=20



Walidacja



Test powtarzalności



- Analiza statystyczna
- Interpretacja wyników

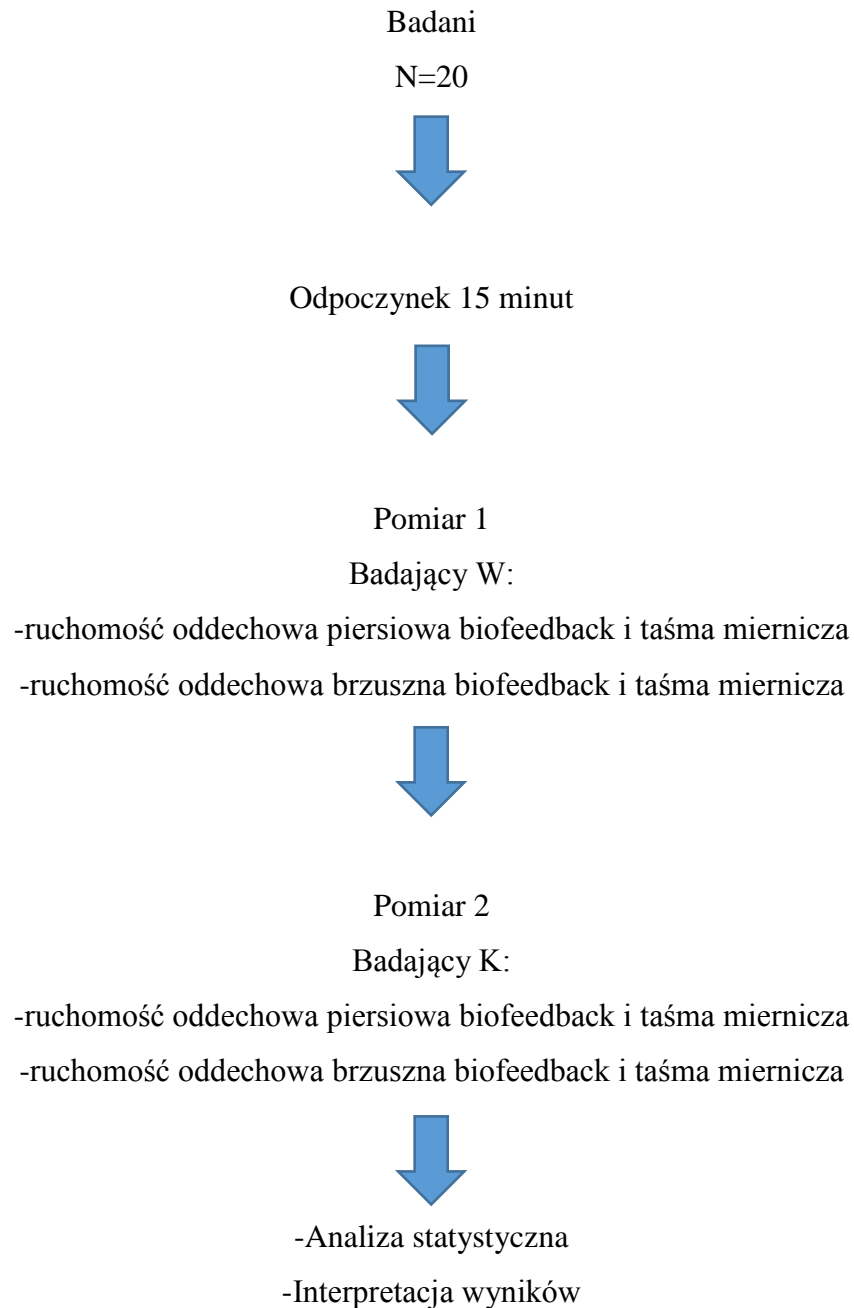
Rycina 2. Schemat oceny przydatności aparatu BioGraph Infiniti do badania klinicznego

W czasie próby umieszczano na ciele badanego dwa elastyczne paski z czujnikami ruchu oddechowego. Pierwszy pasek został umieszczony na brzuchu na wysokości pępka, drugi na klatce piersiowej badanego pod linią pachową. Badani podczas testu znajdowali się w pozycji siedzącej na krześle, bez opierania pleców o oparcie oraz ze stopami opartymi o podłogę. Podczas próby badanych poproszono o nieruchomy siad, nie wykonywanie ruchów kończynami i oddychanie w sposób naturalny. Podczas badania chorzy na tułowiu ubrani byli w koszulkę typu T-shirt. Wybrana odzież nie krępowała ruchu oddechowego.

#### **IV 1. 3. 2. Badanie walidacyjne**

Test walidacyjny miał na celu porównanie wyników oceny rozszerzalności klatki piersiowej i brzucha osiągniętych przez różnych badających, za pomocą dwóch różnych technik. Otrzymane wyniki miały wskazać, czy ich analiza według danej metody przebiega w sposób dający wiarygodne wyniki. Oznaczałoby to, że bez względu na metodę pomiaru i osobę go wykonującą otrzymana się zbieżne wyniki.

Badanie polegało na jednoczesnym pomiarze aparatem BioGraph (w jednostkach własnych [j.w.]) oraz taśmą krawiecką (w centymetrach [cm]) ruchu oddechowego. Zmierzono jednokrotny maksymalny wydech - maksymalny wdech. Badający W. wykonywał pomiar jednokrotny, osobno dla oddechu brzuszego i osobno dla piersiowego. Badający W. przed badaniem zakładał paski z czujnikami ruchu oddechowego, a po opisanym pomiarze ściągał je. Bezpośrednio po pierwszym badającym pomiar wykonywał badający K. Zebrane dane poddano analizie statystycznej. Sposób badania przedstawiono na rycinie 3.



Rycina 3. Schemat badania walidacyjnego.

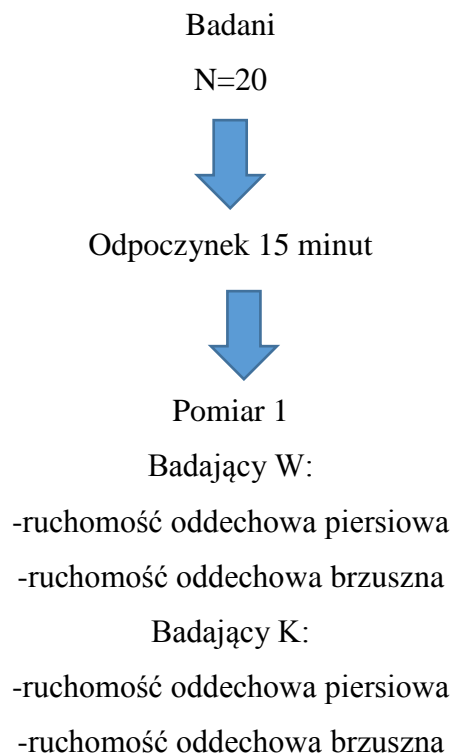
#### **IV 1. 3. 3. Badanie powtarzalności**

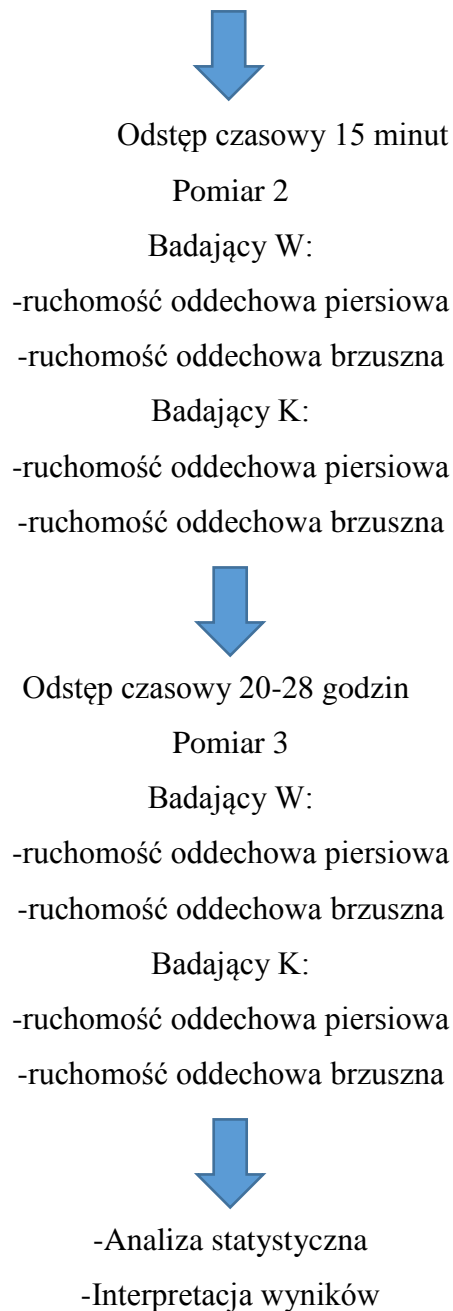
Celem zbadania powtarzalności pomiarów dokonanych w trzech różnych momentach czasu oraz przez dwóch różnych terapeutów (W i K) było stwierdzenie, czy te pomiary cechują się rzetelnością. Badanie wykonywano po trzy razy dla oddechu brzuszego i dla

oddechu piersiowego w jednostkach własnych [j.w.]. Uzyskano dwa potrójne szeregi danych ukazujących zmianę amplitudy toru brzuszno i zmianę amplitudy toru piersiowego odpowiednio u dwóch terapeutów, razem dwanaście szeregów danych.

Ocena powtarzalności została dokonana poprzez zbadanie istnienia zależności pomiędzy parami zmiennych zmierzonych w tych samych jednostkach: tego samego dnia dla jednego badacza 1W-2W, 1K-2K; w różnych dniach dla jednego badacza 1W-3W, 1K-3K; tego samego dnia dla różnych badaczy 1W-1K, 2W-2K, 3W-3K

Protokół badania powtarzalności składał się z 3 prób, poprzedzonych 15minutowym odpoczynkiem. Każda próba była wykonywana przez badającego W, a bezpośrednio po nim próbę wykonywał badający K. Odstęp czasowy pomiędzy pierwszą a drugą próbą wynosił 15 minut, odstęp pomiędzy drugą a trzecią próbą wynosił pomiędzy 24 a 28 godzin. Wszystkie próby wykonywane były w tym samym pomieszczeniu. Każdy z pomiarów trwał 2 minuty. Dane z czujników były zbierane i analizowane. Zebrane dane poddano analizie statystycznej. Schemat badania powtarzalności przedstawiono na rycinie 4.





Rycina 4. Schemat badania powtarzalności

## IV 2. Badanie kliniczne

### IV 2. 1. Charakterystyka badanej grupy

Do badań zakwalifikowano 60 chorych na POChP leczonych w Szpitalu Specjalistycznym MSWiA w Głuchołazach im. św. Jana Pawła II, w Dziale Usprawniania Leczniczego. Badania prowadzono w terminie od grudnia 2020 do sierpnia 2021 roku. Chorych przydzielono do jednej z dwóch grup na podstawie randomizacji przeprowadzonej przy użyciu programu komputerowego. Na prowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Opolskiej Izby Lekarskiej w Opolu (marzec 2017).

Do grupy kontrolnej włączono 30 chorych (16 kobiet i 14 mężczyzn) zakwalifikowanych do programu rehabilitacji pulmonologicznej. Średnia wieku badanych wyniosła 64,3 lat ( $\pm 4,2$ ). W grupie 19 chorych było usprawnianych według modelu B, 11 według modelu C (tabela 1). Wszyscy chorzy ukończyli szpitalny program rehabilitacji pulmonologicznej, a ich wyniki włączono do analizy.

Grupę badaną stanowiło 30 chorych (17 kobiet, 13 mężczyzn) zakwalifikowanych do rehabilitacji pulmonologicznej. Średnia wieku badanych wyniosła 62,9 lat ( $\pm 3,5$ ). W grupie 18 chorych było usprawnianych według modelu B, 12 według modelu C. Wszyscy chorzy ukończyli szpitalny program rehabilitacji pulmonologicznej, a ich wyniki włączono do analizy.

Tabela 1. Charakterystyka badanych grup

	I (kontrolna) (n=30)	II (badana) (n=30)
mężczyźni	14	13
kobiety	16	17
średnia wieku	64,3 lat $\pm 4,2$	62,9 lat $\pm 3,5$
model rehabilitacji	B - 19 C - 11	B - 18 C - 12

## **IV 2. 2. Kryteria włączenia i wyłączenia z badań**

Kryteria włączenia do badań:

1. Kobiety oraz mężczyźni w wieku 45-65 lat
2. Zdiagnozowane POChP w kategorii B lub C wg GOLD
3. Kwalifikacja do modelu B lub C szpitalnej rehabilitacji pulmonologicznej
4. Nie palenie tytoniu co najmniej od 5 lat
5. Zgoda chorego na udział w badaniu

Kryteria wyłączenia z badań

1. Inne zdiagnozowane choroby pulmonologiczne
2. Stan po zawale mięśnia sercowego
3. Stan po zabiegach torakochirurgicznych i kardiochirurgicznych
4. Niewydolność serca III<sup>0</sup> lub IV<sup>0</sup> wg NYHA
5. Cukrzyca
6. Zaburzenia poznawcze utrudniające kontakt z badanym
7. Otyłość brzuszna
8. Zmiana w farmakoterapii w badanym okresie
9. Brak zgody chorego na udział w badaniu

## **IV 2. 3. Metody**

Przed przystąpieniem do badań wszyscy chorzy zostali poinformowani o przebiegu i celu badań. Zostali również zapoznani z aparaturą i procedurami badawczymi. Chorych poinformowano o możliwości rezygnacji z badań w dowolnym momencie.

### **IV 2. 3. 1. Ocena ruchu oddechowego piersiowego i brzuszego**

Do pomiaru ruchomości oddechowej piersiowej i brzusznej zastosowano aparat BioGraph Infinity bazujący na koderze ProComp5 Infinity oraz program BioGraph Infinity



4.0. Pomiar prowadzony był w pozycji siedzącej na krześle, przez 2 minuty, po uprzednim 15-minutowym odpoczynku. Pomiar wykonywany był z dokładnością i starannością. Badanie wykonywano w godzinach porannych. Przed badaniem chorego instruowano o konieczności włożenia stosownego ubioru, tj. nie krępującego oddechu. Niedopuszczalna była ciasna bielizna lub ciasny ubiór wierzchni.

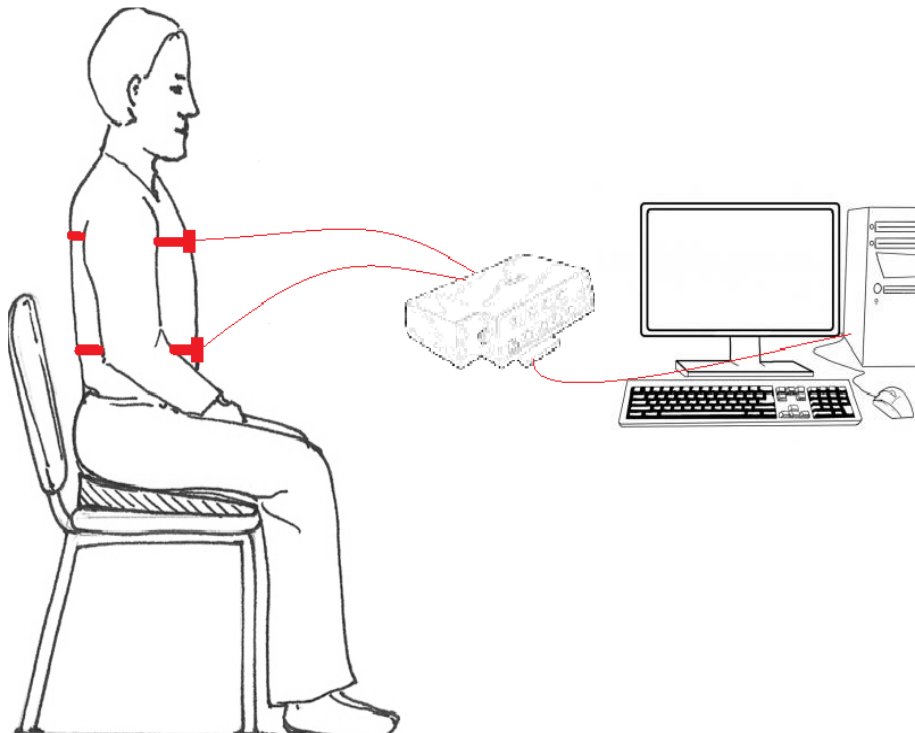
Chorego podczas badania opinano elastycznymi paskami wokół klatki piersiowej i brzucha. Aparat, dzięki sensorom znajdującym się na tych paskach, rejestrował zmiany obwodu osobno klatki piersiowej i brzucha podczas ruchu oddechowego. Paski zapinane były z dużą dokładnością co do umiejscowienia. Pacjent proszony był o zrobienie wdechu, następnie maksymalnego wydechu. Na szczycie wydechu paski były zapinane. Dzięki temu nie były luźne i nie zsuwały się podczas ruchów oddechowych.

Choremu polecono siad przez 2 minuty podczas badania, bez wykonywania zbędnych ruchów kończynami i bez mówienia. Badany oddychał w sposób naturalny dla siebie, nie skupiając się w sposób szczególny na sposobie oddychania. Badany w tym czasie nie powinien rozmawiać.

Badany nie miał możliwości obserwowania parametrów oddechowych w czasie badania na ekranie komputera.

Dane z czujników były transmitowane do komputera, archiwizowane i opracowywane statystycznie. Wynik badania określano w jednostkach własnych urządzenia.

Badanie ruchomości oddechowej prowadzono w pierwszym i ostatnim dniu pobytu badanego w szpitalu (rycina 5).

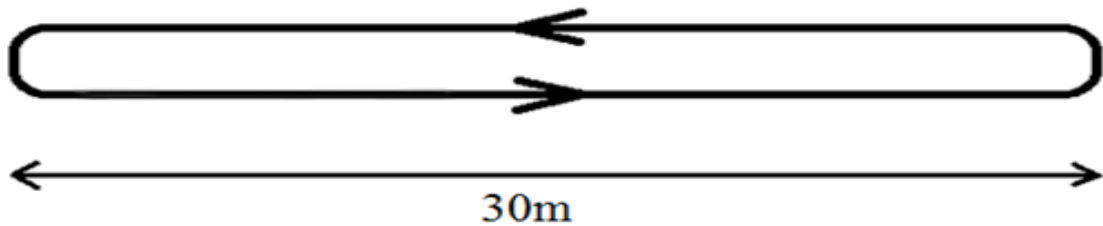


Rycina 5. Sposób prowadzenia badania ruchomości klatki piersiowej oraz brzucha za pomocą aparatu BioGraoh Infinity

#### **IV 2. 3. 2. Ocena tolerancji wysiłku fizycznego**

Ocena tolerancji wysiłku została wykonana za pomocą testu 6-minutowego marszu. Badanie prowadzono u wszystkich chorych, przed i po zakończeniu programu rehabilitacji pulmonologicznej. W dniu badania chorzy nie podejmowali innych, znacznych wysiłków. Do badania przystępowano po 30 minutowym odpoczynku.

Test ten przeprowadzono na wydzielonym odcinku szpitalnego korytarza, na oznaczonym słupkami dystansie długości 30 metrów i szerokości 3 metry. Test polegał na przejściu jak najdłuższego dystansu w jak najszybszym tempie, które pacjent sam sobie wyznacza.



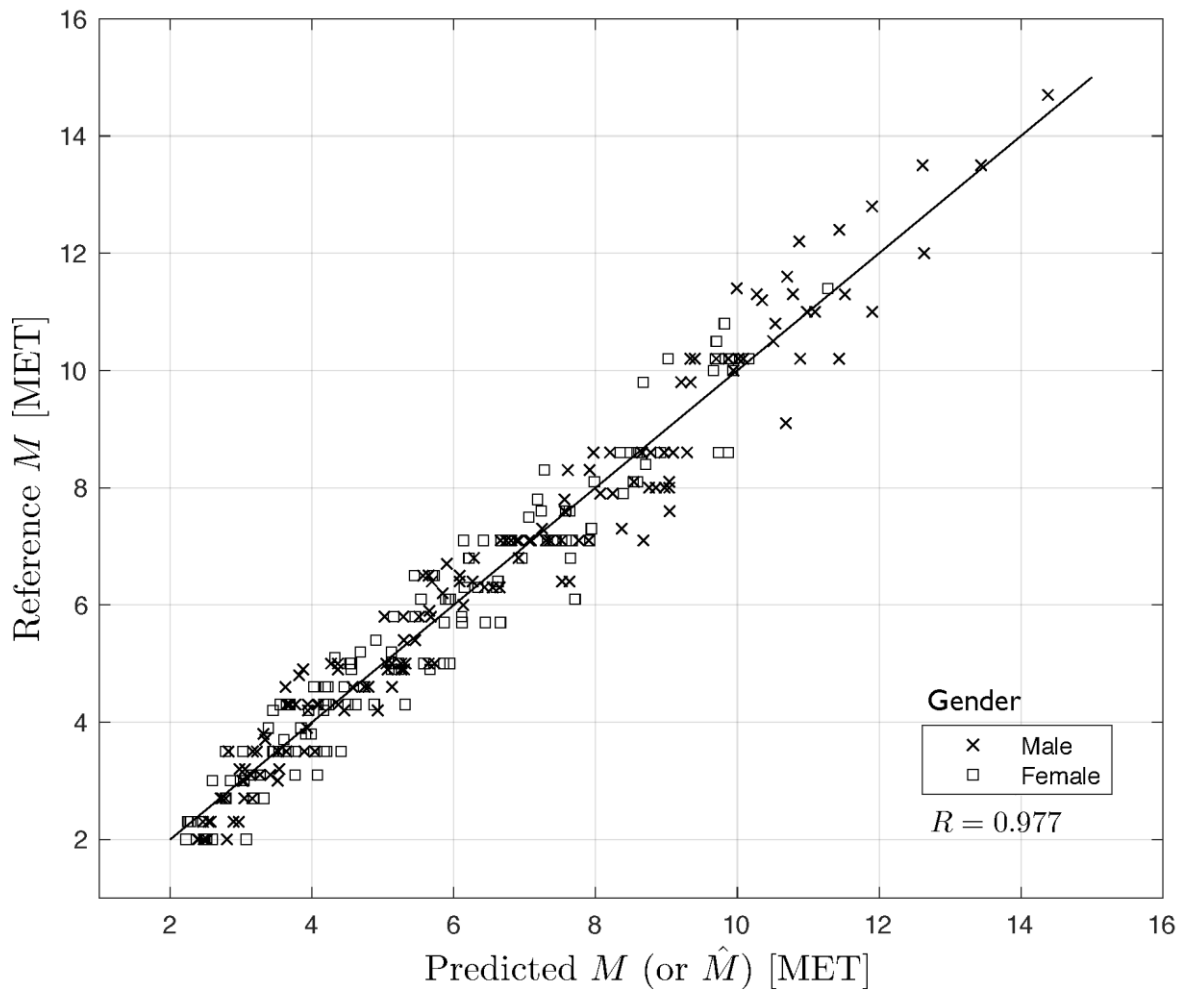
Rycina 6. Układ toru testu 6-minutowego marszu

Przed testem i bezpośrednio po nim mierzono pacjentowi tętno, ciśnienie krwi, oraz odnotowywano nasilenie duszności w 10-cio stopniowej skali Borga. Chory w sposób jasny został poinformowany o celu próby i sposobie jej wykonania. Wzdłuż korytarza ustawiono krzesła, tak aby badani mogli odpocząć w razie potrzeby. Czas odpoczynku był doliczany do czasu próby. Badany dostosowywał tempo marszu do subiektywnego odczucia zmęczenia, w razie potrzeby mógł zwalniać i przyspieszać tempo marszu. Badani byli informowani w 2, 4 minucie marszu o czasie pozostałym do końca próby, a w ostatniej minucie w odstępach 15-to sekundowych. Chorzy w żaden sposób nie byli zachęceni do szybszego marszu. Badający stał na jednym końcu korytarza, pozostając w kontakcie wzrokowym i werbalnym z pacjentem. Chorzy zostali pouczeni o konieczności zgłaszania dolegliwości, występujących podczas marszu.

Po upływie 6 minut prowadzący test oznaczał miejsce, do którego pacjent doszedł. Odnotowywano czas zakończenia testu, dystans pokonany przez pacjenta (długość jednego okrążenia między pacholkami x liczba przebytych okrążeń + dystans pokonany w czasie ostatniego okrążenia). Na podstawie dystansu i czasu chodu obliczono średnią prędkość marszu oraz wydatek energetyczny wyrażony w MET. Średnią prędkość marszu (V) obliczono ze wzoru:

$$V = (\text{liczba metrów} \times 10) / 1000$$

Następnie równoważnik metaboliczny MET obliczono dzięki zastosowaniu nieliniowych modeli matematycznych (Szczegielniak i wsp., 2018).



Rycina 7. Wykres obrazujący przewidywane wartości MET wg modelu wielomianowego (Szczegieliński i wsp., 2018)

#### IV 2. 3. 3. Ocena duszności

U wszystkich chorych bezpośrednio po zakończeniu testu 6-minutowego marszu dokonano oceny duszności wg zmodyfikowanej 10-cio stopniowej skali Borga. Duszność oceniano w spoczynku, na początku oraz po zakończeniu programu rehabilitacji. Zastosowana skala Borga jest powszechnie używana w ocenie duszności osób ze schorzeniami układu oddechowego (tabela 2) (Al-Shakir i wsp., 2016; Borg i Kaijser, 2006; Borg i wsp., 2010).

Tabela 2. Skala subiektywnej 10-cio stopniowej oceny duszności wg skali Borga

0	zupełny brak
0,5	bardzo, bardzo lekka
1	bardzo lekka
2	lekka
3	umiarkowana
4	średnio ciężka
5	ciężka
6	bardzo ciężka
7	
8	
9	prawie maksymalna
10	maksymalna

#### IV 2. 3. 4. Ocena czynności wentylacyjnej płuc

U wszystkich badanych przed rozpoczęciem programu rehabilitacji i po nim wykonano badanie spirometryczne przy użyciu aparatu MasterLab-Transfer firmy Jaeger. Badania wykonywano w pracowni badań czynnościowych Szpitala Specjalistycznego MSWiA w Głuchołazach. Do oceny czynności wentylacyjnej płuc użyto następujących parametrów FVC, FEV<sub>1</sub> oraz FEV<sub>1</sub>%FVC:

- natężona pojemność życiowa (FVC)
- natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa (FEV<sub>1</sub>)
- wskaźnik procentowy uzyskanej FEV<sub>1</sub> do aktualnej wartości VC (FEV<sub>1</sub>%VC)

Wartości badanych parametrów określono w litrach oraz w procencie wartości należnej.

Badanie zostało wykonane 3-krotnie, najlepszy wynik został włączony do dalszej analizy statystycznej. Uzyskane wyniki porównano z wartościami należnymi dla płci, wieku i wzrostu (Górecka i wsp., 2012).

Przed przystąpieniem do badań, każdy badany został dokładnie poinformowany o przebiegu badania i związanych z nim wymaganiami. Badanie czynności wentylacyjnej płuc zostało każdorazowo wykonane w pozycji siedzącej. W trakcie pomiaru motywowano badanego do natężonego wydechu a czas wydechu wynosił, co najmniej 6 sekund. Stanowisko do badań czynności wentylacyjnej płuc - rycina 8.



Rycina 8. Stanowisko badań spirometrycznych (materiał własny)

#### **IV 2. 3. 5. Kwalifikacja chorych do określonego modelu rehabilitacji pulmonologicznej**

W zależności od wartości parametrów uzyskanych w badaniu podmiotowym i przedmiotowym chorzy zostali przyporządkowani do określonego modelu fizjoterapii

pulmonologicznej (B lub C). Kwalifikacja chorych została oparta na ocenie czynności wentylacyjnej płuc, tolerancji wysiłkowej, sprawności fizycznej i duszności (tabela 3).

Tabela 3. Sposób kwalifikacji chorych na POChP do odpowiedniego modelu rehabilitacji (Łuniewski, 2011)

Wydatek energetyczny Spirometria	<3 MET	3-4,9 MET	5-6,9 MET	≥ 7 MET
<30 %FEV <sub>1</sub>	D	D	C	B
30-50 %FEV <sub>1</sub>	D	D/C	C/B	B/A
50-80 %FEV <sub>1</sub>	D	C	B	A
>80 %FEV <sub>1</sub>	D	C	B	A

Ponadto w kwalifikacji do odpowiedniego modelu rehabilitacji pulmonologicznej wzięto pod uwagę:

- wiek - powyżej 75 lat chory kwalifikowany jedną grupę niżej.
- duszność wg 10-stopniowej skali Borga powyżej 8 punktów – chory kwalifikowany jedną grupę niżej.
- sprawność fizyczna 0 –chory kwalifikowany o jedną grupę niżej. Sprawność była oceniana na podstawie ćwiczenia w prostej skali 0-1. Chory, który sam kładzie się na materacu i wstaje z niego w ciągu 25 sekund otrzymywał 1 pkt, jeśli nie potrafiący tego wykonać w ciągu 25 sekund, otrzymuje 0 pkt (Szczegieliński i wsp., 2010).

Do badania zakwalifikowano chorych należących do modelu rehabilitacji B lub C. Program usprawniania różnił się pomiędzy poszczególnymi modelami intensywnością wysiłku fizycznego, natężeniem i czasem trwania usprawniania.

#### IV 2. 3. 6. Program rehabilitacji pulmonologicznej

Chorzy uczestniczyli w 3-tygodniowym programie fizjoterapii stacjonarnej, 6x w tygodniu wg modelu rehabilitacji pulmonologicznej C lub B. Program fizjoterapii obejmował ćwiczenia ogólnie usprawniające, trening wydolnościowy wykonywany na ergometrze rowerowym, ćwiczenia oddechowe, inhalacje, drenaż ułożeniowy, oklepywanie klatki piersiowej, ćwiczenia efektywnego kaszlu (tabela 4).

Tabela 4. Modele fizjoterapii chorych na POCHP (Szczegielniak i wsp., 2010; Szczegielniak i wsp., 2010)

Model fizjoterapii	Program podstawowy	Odczyt tętna wg wzoru Carvonena
Model B	<p>Ćw. oddechowe i ogólnie usprawniające 1 x dziennie ok. 30 min., 6 x w tygodniu</p> <p>Trening na ergometrze rowerowym (interwałowy i ciągły) lub na bieżni 2 x dziennie ok. 30 min., 6 x w tygodniu</p> <p>Trening oporowy lub trening stacyjny 1 x dziennie ok. 30 min., 3 x w tygodniu</p> <p>Spacery</p> <p>Inhalacje</p> <p>Drenaż ułożeniowy i oklepywanie klatki piersiowej</p> <p>Ćwiczenia efektywnego kaszlu</p>	<p><math>[(HR \text{ wys.} - HR \text{ sp.}) \times 70\%] + HR \text{ sp.}</math></p>
Model C	<p>Ćw. oddechowe i ogólnie usprawniające 2 x dziennie ok. 30 min., 6 x w tygodniu</p> <p>Trening na ergometrze rowerowym (ciągły) lub na bieżni 1 x dziennie ok. 30 min., 6 x w tygodniu</p> <p>Spacery</p> <p>Inhalacje</p> <p>Drenaż ułożeniowy i oklepywanie klatki piersiowej</p>	<p><math>[(HR \text{ wys.} - HR \text{ sp.}) \times 60\%] + HR \text{ sp.}</math></p>



## Ćwiczenia efektywnego kaszlu

---

Program usprawniania według modelu B obejmował:

- Ćwiczenia ogólnie usprawniające wykonywane rano: ćwiczenia koordynacyjne i równowagi, ćwiczenia rozciągające z zastosowaniem taśm elastycznych, piłek rehabilitacyjnych i poduszek sensorycznych. Ćwiczenia wykonywane były w pozycjach: stojącej, w klęku podpartym, w siadzie prostym, leżeniu na boku, przodem oraz tyłem. Ćwiczenia odbywały się raz dziennie przez 30 minut, 5 x w tygodniu.
- Ćwiczenia oddechowe: ćwiczenia rozluźniające, ćwiczenia wzmacniające mięśnie oddechowe, ćwiczenia z oporem, ćwiczenia zwiększające ruch oddechowy dolnożebrowy, ćwiczenia wydłużonego wydechu. Ćwiczenia odbywały się raz dziennie 15-20 min, 5 x w tygodniu.
- Trening na ergometrze rowerowym lub też bieżni ruchomej. Ćwiczenia odbywały się raz dziennie przez 20-30 minut, 5 x w tygodniu - do uzyskania tętna treningowego. Trening prowadzony był w formie treningu przerywanego, podczas którego stopniowo zwiększano obciążenie o 25 Wat co 4 minuty.  
Liczba cykli oraz czas trwania treningu zależna były od uzyskania limitu tętna treningowego. Dla każdego chorego limit był wyliczany indywidualnie według wzoru:  
Wartość tętna  $[(HR \text{ wysiłkowe} - HR \text{ spoczynkowe}) \times 70\%] + HR \text{ spoczynkowe}$ .
- Ćwiczenia czynne z oporem. Wykonywane były raz dziennie przez 20-30 minut, 5 x w tygodniu. Chorzy wykonywali ćwiczenia oporowe obejmowały zginacze i prostowniki stawu łokciowego, kolanowego oraz mięśnie brzucha. Przez pierwsze dni pacjent rozpoczynał treningi od jednej serii z małą liczbą powtórzeń. Następnie stopniowo zwiększano obciążenie, pod nadzorem fizjoterapeuty. Na kolejnych stanowiskach wykonywano 3 serie po 10 powtórzeń. Przerwa między seriami wynosiła 30-90 s, a pomiędzy powtórzeniami 2-3 s.
- Spacer w grupie razem z fizjoterapeutą na trasach wokół szpitala trwały 20-30 min.

- Inhalacje 3% roztworu izotonicznego NaCl, w pracowni z wykorzystaniem aparatów ultradźwiękowych.
- Raz dziennie chorzy brali udział w sesji szybko zmienianych pozycji drenażowych i oklepywaniu klatki piersiowej.
- Trening autogeny Schultza wykonywany raz dziennie przez 15 minut, 5 x w tygodniu.

Program usprawniania według modelu C obejmował:

- Ćwiczenia ogólnie usprawniające wykonywane rano. ćwiczenia koordynacyjne i równowagi, ćwiczenia rozciągające z użyciem taśm elastycznych, piłek rehabilitacyjnych oraz poduszek sensorycznych. Ćwiczenia wykonywane były w pozycjach: stojącej, w klęku podpartym, w siadzie prostym, leżeniu na boku, przodem i tyłem. Ćwiczenia wykonywane były raz dziennie przez 30 minut, 5 x w tygodniu.
- Ćwiczenia krążeniowo-oddechowe. Ćwiczenia wykonywane raz dziennie przez 30 min, 5 x w tygodniu. Ćwiczenia zawierały elementy nauki efektywnego kaszlu, wzmacniające przeponę bez oporu, zmniejszające nadmierne napięcie mięśni klatki piersiowej, ćwiczenia wydłużonego wydechu oraz ćwiczenia krążeniowe.
- Trening na ergometrze rowerowym lub bieżni ruchomej. Ćwiczenia wykonywane raz dziennie przez 20-30 minut, 5 x w tygodniu - do uzyskania tętna treningowego. Trening prowadzony w formie treningu przerywanego, podczas którego stopniowo zwiększano obciążenie o 25 Wat, co 4 minuty. Liczba cykli oraz czas trwania treningu zależne były od uzyskania limitu tętna treningowego. Dla każdego pacjenta tętno wyliczane było indywidualnie według wzoru:  
Wartość tętna  $[(HR \text{ wysiłkowe} - HR \text{ spoczynkowe}) \times 70\%] + HR \text{ spoczynkowe}$ .
- Ćwiczenia z obciążeniem. Ćwiczenia wykonywane były raz dziennie przez 20-30 minut, 5 x w tygodniu. Chorzy wykonywali ćwiczenia oporowe zginaczy i prostowników stawu łokciowego, kolanowego oraz mięśnie brzucha.
- Spacerki grupowe odbywające się z fizjoterapeutą na trasach wokół szpitala trwające 20-30 min.
- Inhalacje z 3% roztworu izotonicznego NaCl, w pracowni z wykorzystaniem aparatów ultradźwiękowych.

- Raz dziennie chorzy brali udział w sesji szybko zmienianych pozycji drenażowych i oklepywaniu klatki piersiowej.
- Trening autogenny Schultza odbywający się raz dziennie przez 15 minut, 5 x w tygodniu.

#### **IV 2. 3. 7. Trening biofeedback**

Trening biofeedback wykonywany był tym samym urządzeniem oraz w tej samej pozycji co badanie amplitudy ruchu oddechowego - BioGraph Infinity bazujący na koderze ProComp5 Infinity oraz program BioGraph Infinity 4.0.

Do treningu chorzy przystępowali po uprzednim 15-minutowym odpoczynku. Trening biofeedback odbywał się 5 razy w tygodniu przez 2 tygodnie. Łącznie każdy pacjent uczestniczył w 10 sesjach.

Do treningu użyto programu wizualizującego stosunek amplitudy ruchu oddechowego brzuszno do piersiowego. Chory obserwował na monitorze swój aktualny wynik. W momencie gdy przeważał tor oddechowy brzuszny pojawiała się na prawej części ekranu zielony pasek. Im dłuższy pasek, tym amplituda ruchu oddechowego brzuszno była większa. Dodatkowo, gdy przeważał tor oddechowy brzuszny, w głośnikach komputera pojawiała się muzyka. Gdy u chorego przeważał tor oddechowy piersiowy muzyka milkła, a pasek pojawiał się w lewej części ekranu.

Każdy badany przed pierwszą sesją był instruowany co do sposobu prowadzenia treningu. Zachęcano badanych do używania toru oddechowego brzuszno i uzyskania na ekranie najwyższej możliwej do osiągnięcia wizualizacji w postaci długiej, zielonej linii.

Każda sesja trwała 20 minut. Sesje składały się naprzemiennie z 2-minutowego ćwiczenia i 2-minutowego odpoczynku.

## V METODY STATYSTYCZNE

Wyniki badań zostały poddane analizie w programie STATISTICA v.13 firmy StatSoft Polska (licencja Politechnika Opolska) oraz w programie JASP v. 0.16.1 (University of Amsterdam, Holandia). Zebrane dane empiryczne w postaci wyników badań posłużyły uzyskaniu odpowiedzi na postawione pytania badawcze.

Narzędziem oceny zależności był współczynnik korelacji rang Spearmana.

Narzędziem oceny powtarzalności pomiarów był współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (*ICC* - intraclass correlation coefficient), który został wykorzystany ze względu na to, iż badanie prowadziło dwóch terapeutów. Za pomocą współczynnika *ICC* zmierzono stopień zgodności wyników (tj. siłę sędziowskiej rzetelności). Do weryfikacji istotności statystycznej współczynnika korelacji wewnątrzgrupowej *ICC* wykorzystano statystykę *F* opartą o rozkład Fishera-Snedecora.

Do opisu badanych zmiennych wykorzystano charakterystyki ze statystyki opisowej takie jak: miary położenia i wybrane miary zmienności. Graficzny obraz rozkładu wartości cech zaprezentowano na wykresach.

W przypadku spełnienia założeń takich jak: zgodność rozkładu danych cech z rozkładem normalnym, równość wariancji czy liczebności prób zdeterminowało wybór konkretnego testu statystycznego.

Rozkłady badanych zmiennych (cech) nie były zgodne z rozkładem normalnym – do weryfikacji statystycznej istotności różnic między wartościami zmiennych przed i po pomiarze postanowiono zastosować testy nieparametryczne:

- dla prób zależnych – test Wilcozona,
- dla prób niezależnych – test U Manna – Whitneya.

Dokonano porównania wartości median wybranych parametrów z grup kontrolnych i badanej za pomocą powyższych testów. Podczas weryfikacji hipotez przyjęto poziom istotności  $p < 0,05$ .

## VI WYNIKI BADAŃ

### VI 1. Walidacja i test powtarzalności

#### VI 1. 1. Walidacja urządzenia

W badaniu walidacyjnym uzyskano dwa podwójne szeregi danych ukazujących zmianę amplitudy toru brzuszego i zmianę amplitudy toru piersiowego odpowiednio w dwóch rodzajach jednostek, dla badających W i K. Ocena zbieżności została dokonana poprzez zbadanie istnienia zależności pomiędzy parami zmiennych zmierzonych w tych samych jednostkach. W tabelach zaprezentowano wartości współczynników korelacji.

Tabela 5. Współczynniki korelacji dla pomiarów toru brzuszego w [cm] dokonanych dwiema metodami

zmienna	brzuszny [cm] W	brzuszny [cm] K
tor brzuszny [cm] badający W	1,0000	0,6647
tor brzuszny [cm] badający K	0,6647	1,0000

Tabela 6. Współczynniki korelacji dla pomiarów toru piersiowego w [cm] dokonanych dwiema metodami

zmienna	piersiowy [cm] W	piersiowy [cm] K
tor piersiowy [cm] badający W	1,0000	0,6229
tor piersiowy [cm] badający K	0,6229	1,0000

Tabela 7. Współczynniki korelacji dla pomiarów toru brzuszego w [jw] dokonanych dwiema metodami

zmienna	brzuszný [jw] W	brzuszný [jw] K
tor brzuszny [jw] badający W	1,0000	0,6762
tor brzuszny [jw] badający K	0,6762	1,0000

Tabela 8. Współczynniki korelacji dla pomiarów toru brzuszego w [cm] dokonanych dwiema metodami

zmienna	piersiowy [jw] W	piersiowy [jw] K
tor piersiowy [jw] badający W	1,0000	0,5016
tor piersiowy [jw] badający K	0,5016	1,0000

Wartości wszystkich współczynników korelacji pomiędzy parami zmiennych: zmiana amplitudy toru brzuszego i zmiana amplitudy toru piersiowego odpowiednio w dwóch rodzajach jednostek, wskazują na istnienie dodatniej korelacji pomiędzy nimi. Wartości współczynnika korelacji powyżej 0,5 wskazują na silną korelację.

## VI 1. 2. Powtarzalność pomiarów

Za ocenę zgodności ocen pojedynczego terapeuty w badaniu odpowiada wartość współczynnika korelacji ICC(2,1), a za ocenę wiarygodności wyników będących średnią wyników otrzymanych przez badających współczynnik korelacji ICC(2,k). Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej, którego wartość jest bliska 1 oznacza silną zgodność wyników osób badających (tabela 9).

Tabela 9. Współczynniki korelacji wewnątrzgrupowej dla pomiarów toru oddechowego brzuszno i piersiowego w [j.w.] dokonanych w trzech momentach czasu przez dwóch terapeutów

Para zmiennych		ICC(2,1)	ICC(2,2)	F	p-value
tor brzuszny 1 badający W	tor brzuszny 2 badający W	0,8976	0,9460	20,258 1	0,0000
tor brzuszny 1 badający K	tor brzuszny 2 badający K	0,8572	0,9231	19,605 6	0,0000
tor brzuszny 1 badający W	tor brzuszny 3 badający W	0,6716	0,8035	6,6522	0,0001
tor brzuszny 1 badający K	tor brzuszny 3 badający K	0,8222	0,9024	9,8564	0,0000
tor brzuszny 1 badający W	tor brzuszny 1 badający K	0,8577	0,9234	13,086 9	0,0000
tor brzuszny 2 badający W	tor brzuszny 2 badający K	0,7867	0,8806	11,504 6	0,0000
tor brzuszny 3 badający W	tor brzuszny 3 badający K	0,7127	0,8323	8,1403	0,0000
tor piersiowy 1 badający W	tor piersiowy 2 badający W	0,8455	0,9163	11,507 6	0,0000
tor piersiowy 1 badający K	tor piersiowy 2 badający K	0,7415	0,8516	6,6367	0,0001
tor piersiowy 1 badający W	tor piersiowy 3 badający W	0,7893	0,8822	9,2724	0,0000
tor piersiowy 1 badający K	tor piersiowy 3 badający K	0,7231	0,8393	6,8695	0,0001
tor piersiowy 1 badający W	tor piersiowy 1 badający K	0,6248	0,7691	4,4200	0,0011
tor piersiowy 2 badający W	tor piersiowy 2 badający K	0,8544	0,9215	13,584 6	0,0000

tor piersiowy 3 badający W	tor piersiowy 3 badający K	0,8481	0,9178	11,957 3	0,0000
-------------------------------	-------------------------------	--------	--------	-------------	--------

Wartości wszystkich współczynników korelacji pomiędzy parami zmiennych: zmiana amplitudy brzusznej i zmiana amplitudy piersiowej odpowiednio dla różnych momentów pomiaru, jak i różnych terapeutów wskazują na istnienie dodatniej korelacji pomiędzy nimi. Wartości  $p$ -value  $< 0,05$  dla statystyki  $F$  wskazują istotną statystycznie korelację wyników pomiarów. Wskazuje to na wysoką powtarzalność pomiarów.

## VI 2. Badanie kliniczne

### VI 2. 1. Analiza porównawcza przed rehabilitacją

Tabela 10. Porównanie wartości początkowych analizowanych wskaźników przed rozpoczęciem rehabilitacji

	<i>p-value</i>
Amplituda ruchu oddechowego	
tor brzuszny	0,344
tor piersiowy	0,610
dystans	0,216
MET	0,216
FVC (l)	0,981
FVC (%)	0,27
FEV <sub>1</sub> (l)	0,861
FEV <sub>1</sub> (%)	0,147
FEV <sub>1</sub> %VC	0,051
duszność	0,454



Analiza porównawcza wyników wartości amplitudy ruchu oddechowego piersiowego oraz brzuszego przed rehabilitacją dla grupy badanej i kontrolnej wykazała brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy dwoma grupami ( $p>0,05$ ), (tabela 10).

Analiza porównawcza wartości dystansu osiągniętego w teście 6MWT oraz wskaźnika metabolicznego MET dla grupy badanej i grupy kontrolnej przed rehabilitacją wykazała, że nie istnieje statystycznie istotna różnica pomiędzy dwoma grupami w zakresie wyników tego testu ( $p>0,05$ ) (tabela 10).

Analiza porównawcza wyników FVC, FVC%, FEV<sub>1</sub> oraz FEV<sub>1</sub>% przed rehabilitacją dla grupy badanej i grupy kontrolnej wykazała, że nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tego badania pomiędzy dwoma grupami ( $p>0,05$ ) (tabela 10).

Analiza porównawcza wyników FEV<sub>1</sub>%VC przed rehabilitacją dla grupy badanej i grupy kontrolnej wykazała, że nie występuje statystycznie istotna różnica pomiędzy wynikami tego badania pomiędzy dwoma grupami ( $p>0,05$ ) (tabela 10).

Analiza porównawcza wyników wartości wskaźnika opisującego duszność przed rehabilitacją dla grupy badanej i kontrolnej wykazała brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy dwoma grupami ( $p>0,05$ ), (tabela 10).

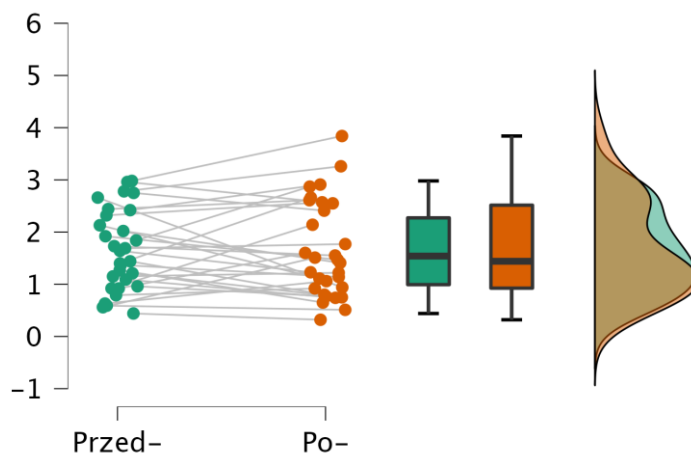
## VI 2. 2. Analiza porównawcza wewnątrzgrupowa

Tabela 11. Wyniki zmiennych: amplituda ruchu oddechowego brzuszego, amplituda ruchu oddechowego piersiowego, dystansu, MET i FEV<sub>1</sub> w odniesieniu do okresu przed i po rehabilitacji, dla grupy kontrolnej oraz badanej

	Kontrolna				Badana			
	przed	po	delta	<i>p</i> -value	przed	po	delta	<i>p</i> -value
Amplituda ruchu oddechowego								
tor brzuszny [j.w.]	1,54 [0,99-2,27]	1,44 [0,93-2,52]	0,01	0,992	1,295 [0,76-1,3]	1,82 [1,31-2,53]	0,66	<0,001
tor piersiowy [j.w.]	1,14 [0,89-1,79]	1,1 [0,69-1,53]	-0,06	0,323	1,31 [0,86-1,68]	1,47 [0,69-1,84]	-0,1	0,45
dystans [m]	473	502,5	16,4	0,026	423,5	461 [409-	26,1	<0,001

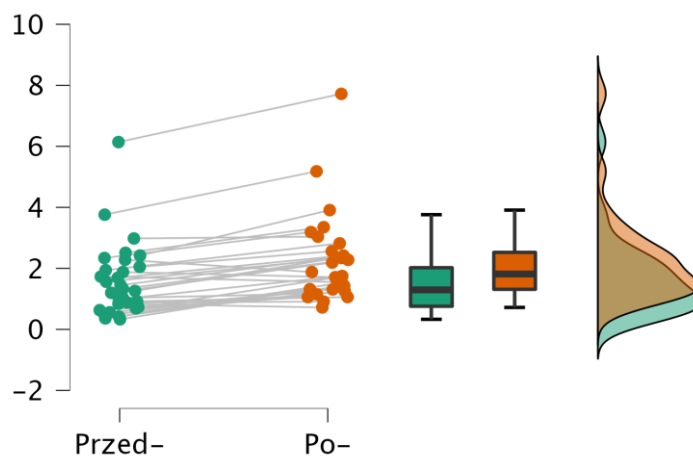
	[413,25-511,5]	[448,25-534,75]			[382,75-464]	491,75]		
MET	3,25 [2,97-3,44]	3,39 [3,14-3,55]	0,08	0,025	3,02 [2,82-3,21]	3,2 [2,95-3,34]	0,12	<0,001
FVC (l)	2,34 [2,09-3,05]	2,61 [2,12-3,18]	0,03	0,061	2,53 [2,14-3,08]	2,77 [2,1-3,3]	0,11	0,06
FVC (%)	75,5 [69-80]	79 [70-84]	0,5	0,057	75 [58-82]	78 [68-86]	2,5	0,045
FEV <sub>1</sub> (l)	1,74 [1,58-2,46]	1,86 [1,6-2,58]	0,08	0,009	1,91 [1,55-2,32]	2,15 [1,7-2,58]	0,11	<0,001
FEV <sub>1</sub> (%)	74,5 [63-81]	75,5 [67-85]	1,5	0,027	69,5 [59-77]	76 [66-85]	3,5	<0,001
FEV <sub>1</sub> % VC	82,37 [78,34-90,07]	78,54 [74,6-84,75]	-2,48	0,002	79,38 [71,67-85,22]	86,67 [80,32-91,72]	4,78	<0,001
duszność	2 [0-3]	2 [0-3]	0	0,424	2 [1-3]	1 [0-2]	-1	<0,001

Analiza amplitudy ruchu oddechowego brzuszego w grupie kontrolnej wykazała wartość mediany 1,54j.w. [0,99-2,27], natomiast po zakończonym programie rehabilitacji 1,44j.w. [0,93-2,52]. Wykazano, że pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji nie istnieją istotne statystycznie różnice ( $p>0,05$ ). Rycina 9 przedstawia zmiany wartości amplitudy ruchu oddechowego brzuszego przed oraz po rehabilitacji.



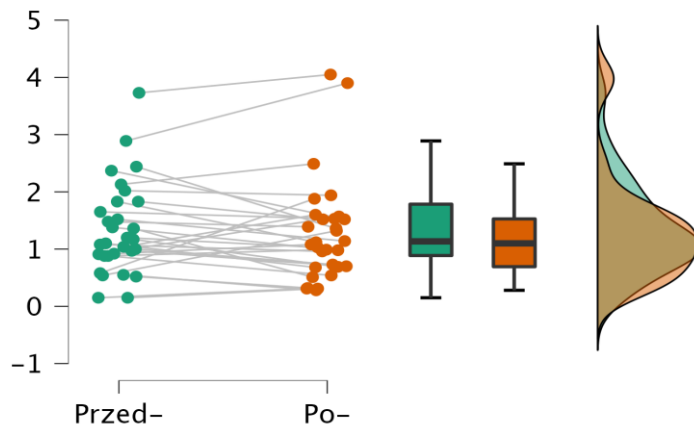
Rycina 9. Porównanie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza amplitudy ruchu oddechowego brzuszego oceniana w grupie badanej wykazała wartość mediany 1,295j.w. [0,76-1,3], a po zakończonym programie rehabilitacji wartość mediany wyniosła 1,82j.w. [1,31-2,53]. Otrzymane dane pokazują wzrost badanego parametru po rehabilitacji. Wykazano, że pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji istnieją istotne statystycznie różnice ( $p<0,001$ ). Rycina 10 ukazuje zmiany wartości amplitudy ruchu oddechowego brzuszego uzyskanego przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



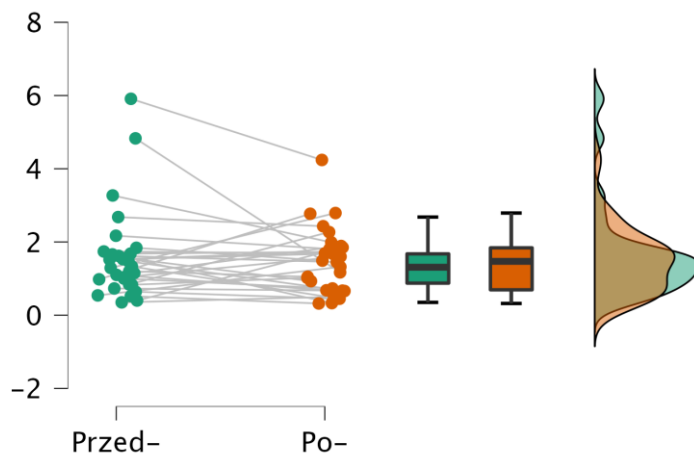
Rycina 10. Porównanie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza amplitudy ruchu oddechowego piersiowego w grupie kontrolnej przed rehabilitacją wykazała wartość mediany 1,14j.w. [0,89-1,79]. Wartość amplitudy ruchu oddechowego piersiowego po rehabilitacji wyniosła 1,1j.w. [0,69-1,53]. Wykazano, że pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji nie istnieją istotne statystycznie różnice ( $p>0,05$ ). Rycina 11 obrazuje zmiany wartości amplitudy ruchu oddechowego piersiowego uzyskanego przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



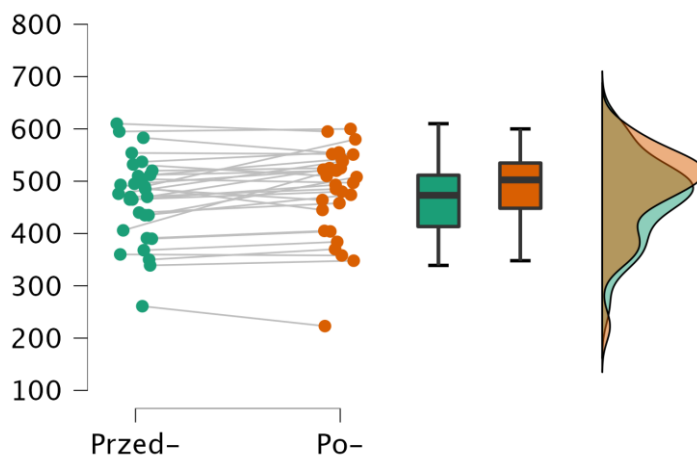
Rycina 11. Porównanie amplitudy ruchu oddechowego piersiowego przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza amplitudy ruchu oddechowego piersiowego wykonana w grupie badanej przed rehabilitacją wykazała wartość mediany 1,31j.w. [0,86-1,68]. Wartość mediany amplitudy ruchu oddechowego piersiowego po rehabilitacji wyniosła 1,47j.w. [0,69-1,84]. Wykazano, że pomiędzy wynikami amplitudy ruchu oddechowego piersiowego przed i po rehabilitacji nie istnieją istotne statystycznie różnice ( $p>0,05$ ). Rycina 12 ukazuje zmiany wartości amplitudy ruchu oddechowego piersiowego uzyskanego przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



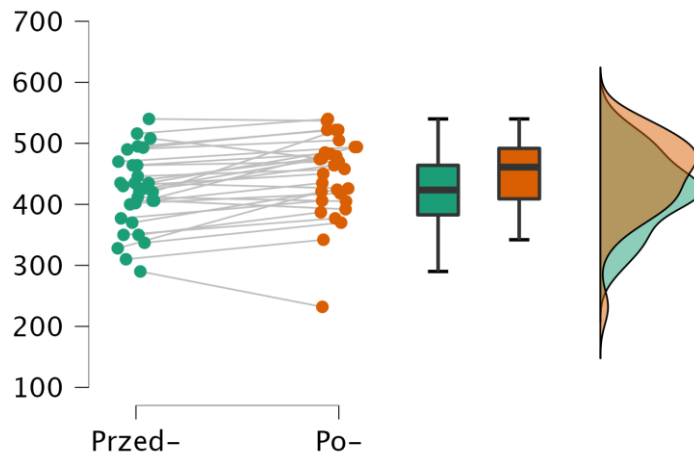
Rycina 12. Porównanie amplitudy ruchu oddechowego piersiowego przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza dystansu osiągniętego w teście 6MWT przed przystąpieniem do rehabilitacji wykazała w grupie kontrolnej wartość mediany 473m [413,25-511,5], a po rehabilitacji 502,5m [448,25-534,75]. Otrzymane dane wskazują wzrost badanego parametru po rehabilitacji na poziomie średnio 29,5m. Wykazano, że pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji istnieją istotne statystycznie różnice ( $p < 0,05$ ). Wartość przeciętna poziomu dystansu po jest istotnie wyższa niż przed rehabilitacją. Rycina 13 pokazuje zmiany wartości dystansu uzyskanego przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



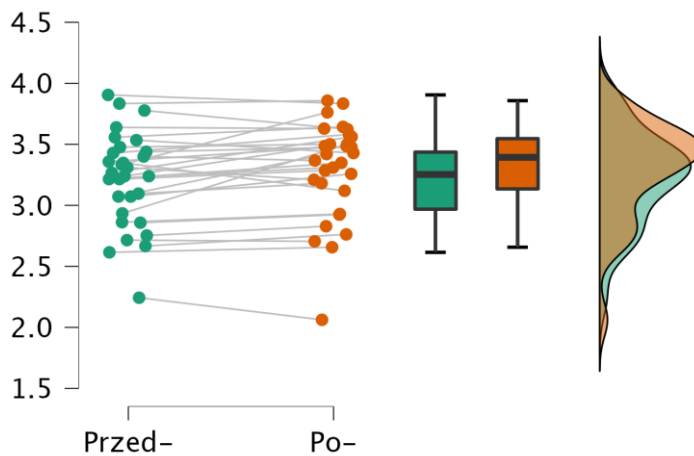
Rycina 13. Porównanie wartości dystansu osiągniętego w teście 6MWT przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza dystansu osiągniętego w teście 6MWT przed przystąpieniem do rehabilitacji wykazała w grupie badanej wartość mediany na poziomie 423,5m [382,75-464], natomiast po rehabilitacji 461m [409-491,75]. Wyniki wskazują na wzrost badanego parametru po rehabilitacji o 37,5 metra. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji ( $p < 0,05$ ). Rycina ukazuje zmiany wartości dystansu uzyskanego przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



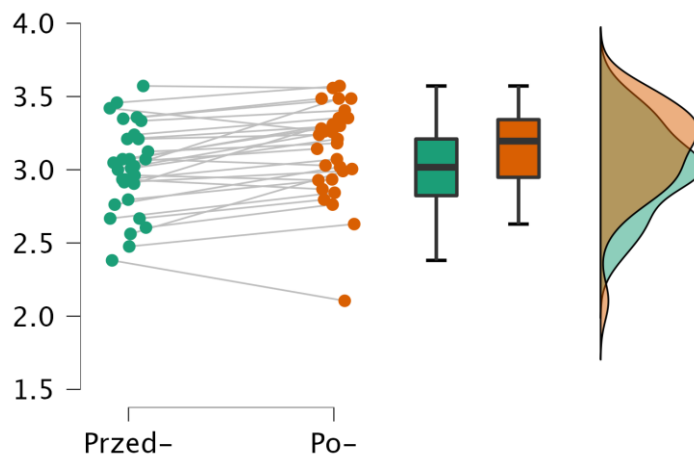
Rycina 14. Porównanie wartości dystansu osiągniętego w teście 6MWT przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej.

Analiza równoważnika metabolicznego MET teście 6MWT grupie kontrolnej przed rehabilitacją wykazała wartość mediany 3,25 MET [2,97-3,44]. Po zakończonym programie rehabilitacji wartość wyniosła 3,39 MET [3,14-355]. Wartość przeciętna poziomu testu MET po rehabilitacji jest istotnie wyższa niż przed ( $p < 0,05$ ). Rycina 15 ukazuje zmiany wartości MET przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



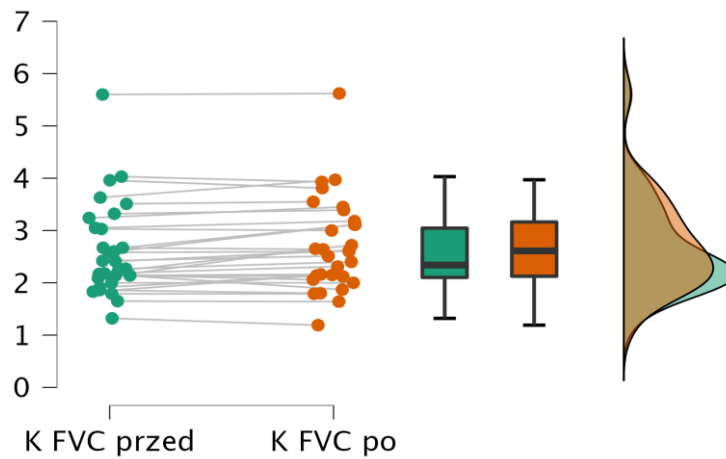
Rycina 15. Porównanie wartości MET w teście 6MWT przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza równowaznika metabolicznego MET teście 6MWT grupie badanej przed rehabilitacją wykazała wartość mediany 3,02 MET [2,82-3,21]. Po zakończonym programie rehabilitacji wartość ta wyniosła 3,2 MET [2,95-3,34]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji ( $p < 0,05$ ). Rycina 16 ukazuje zmiany wartości MET przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



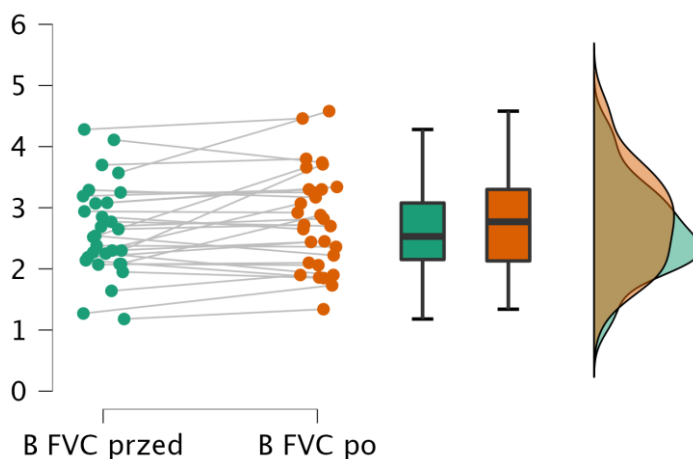
Rycina 16. Porównanie wartości MET w teście 6MWT przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza wartości wskaźnika FVC w grupie kontrolnej wykazała medianę na poziomie 2,34 [2,09-3,05], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 2,61 [2,12-3,18]. Nie wykazano statystycznie istotnych różnic pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p > 0,05$ ). Rycina 17 ukazuje zmiany wartości FVC przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



Rycina 17. Porównanie wartości wskaźnika FVC przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

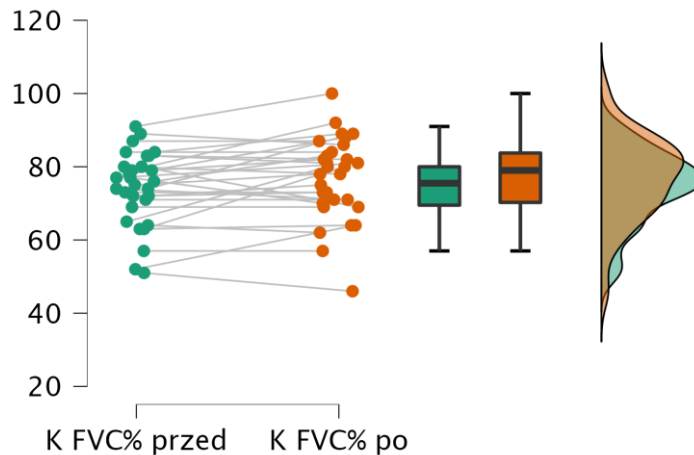
Analiza wartości wskaźnika FVC w grupie badanej wykazała medianę na poziomie 2,53 [2,14-3,08], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 2,77 [2,1-3,3]. Nie wykazano statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p>0,05$ ). Rycina 18 ukazuje zmiany wartości FVC przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



Rycina 18. Porównanie wartości wskaźnika FVC przed i po rehabilitacji w grupie badanej

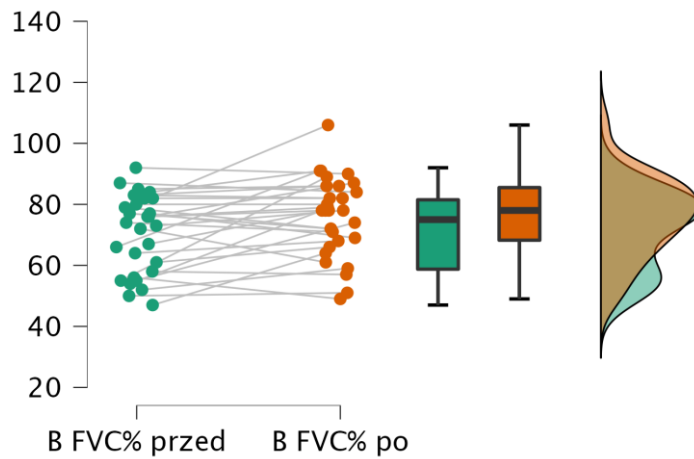


Analiza wartości wskaźnika FVC % w grupie kontrolnej wykazała medianę na poziomie 75,5 [69-80], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 79 [70-84]. Nie wykazano statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p>0,05$ ). Rycina 19 ukazuje zmiany wartości FVC% przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



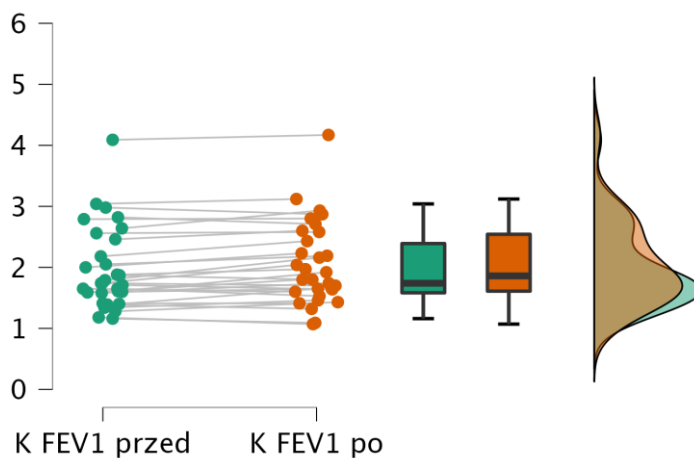
Rycina 19. Porównanie wartości wskaźnika FVC% przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza wartości wskaźnika FVC% w grupie badanej wykazała medianę na poziomie 75% [58-82], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 78% [68-86]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p<0,05$ ). Wartość przeciętna poziomu badanego parametru jest istotnie wyższa po rehabilitacji. Rycina 20 ukazuje zmiany wartości FVC% przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



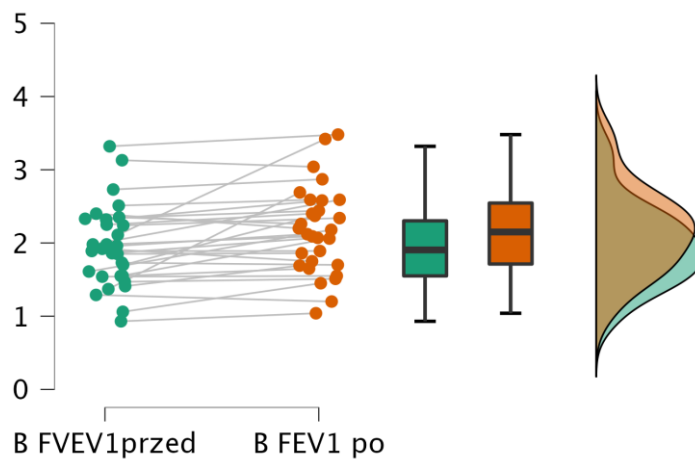
Rycina 20. Porównanie wartości wskaźnika FVC% przed i po rehabilitacji w grupie badanej.

Analiza wartości wskaźnika  $FEV_1$  w grupie kontrolnej wykazała medianę na poziomie 1,74 [1,58-2,46], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 1,86 [1,6-2,58]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p < 0,05$ ). Otrzymane dane wskazują na nieznaczny wzrost badanego parametru. Rycina 21 ukazuje zmiany wartości  $FEV_1$  przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



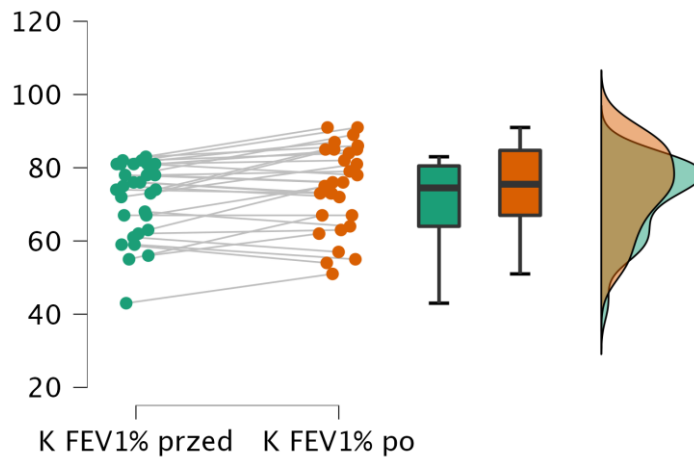
Rycina 21. Porównanie wartości wskaźnika  $FEV_1$  przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub> w grupie badanej wykazała medianę na poziomie 1,91 [1,55-2,32], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 2,15 [1,7-2,58]. Analiza wyników przed i po programie rehabilitacji wykazała istotne różnice pomiędzy wynikami ( $p<0,05$ ). Analiza wykazała nieznaczne zwiększenie wartości przeciętnej FEV<sub>1</sub> po terapii feedback w grupie badanej. Rycina 22 ukazuje zmiany wartości FEV<sub>1</sub> przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



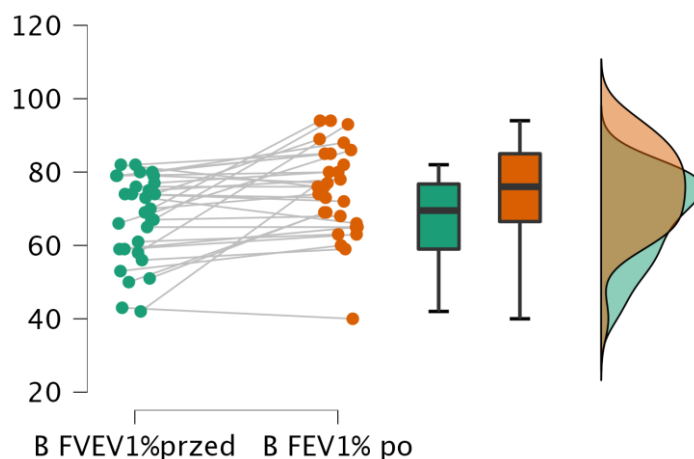
Rycina 22. Porównanie wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub> przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>% w grupie kontrolnej wykazała medianę na poziomie 74,5% [63-81], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 75,5 [67-85]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p<0,05$ ). Wyniki wskazują na wzrost badanego parametru po rehabilitacji. Rycina 23 ukazuje zmiany wartości FEV<sub>1</sub>% przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



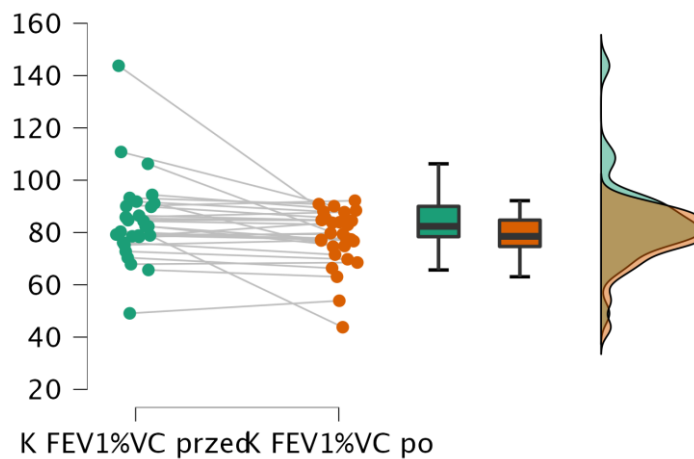
Rycina 23. Porównanie wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>% przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>% w grupie badanej wykazała medianę na poziomie 69,5 [59-77], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 76 [66-85]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie badanej ( $p < 0,05$ ). Odnotowano istotny wzrost badanego wskaźnika po rehabilitacji. Rycina 24 ukazuje zmiany wartości FEV<sub>1</sub>% przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



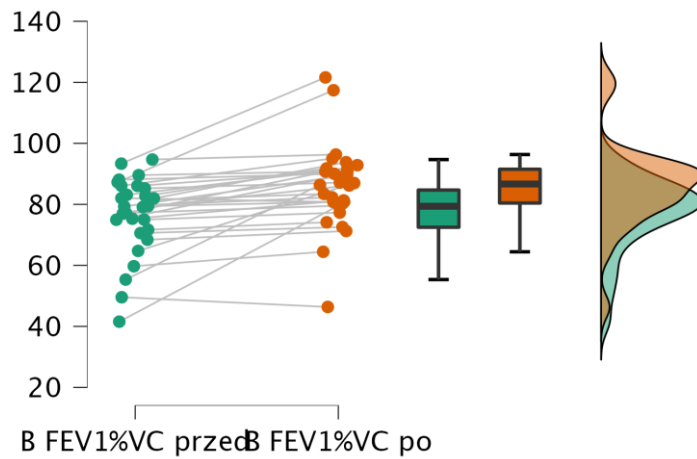
Rycina 24. Porównanie wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>% przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>%VC w grupie kontrolnej wykazała medianę na poziomie 82,37% [78,34-90,07], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 78,54 [74,6-84,75]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p < 0,05$ ). Rycina 25 ukazuje zmiany wartości FEV<sub>1</sub>%VC przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



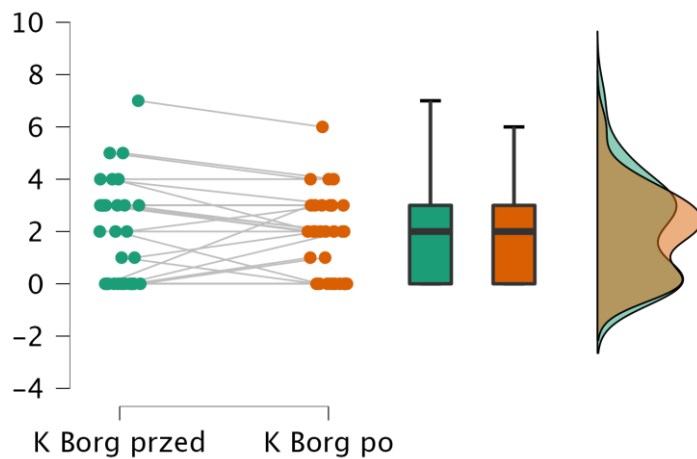
Rycina 25. Porównanie wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>%VC przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza wartości wskaźnika FEV<sub>1</sub>%VC w grupie badanej wykazała medianę na poziomie 79,38% [71,67-85,22], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 86,67% [80,32-91,72]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie badanej ( $p < 0,05$ ). Wartość przeciętna badanego parametru była istotnie wyższa po rehabilitacji. Rycina 26 ukazuje zmiany wartości FEV<sub>1</sub>%VC przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



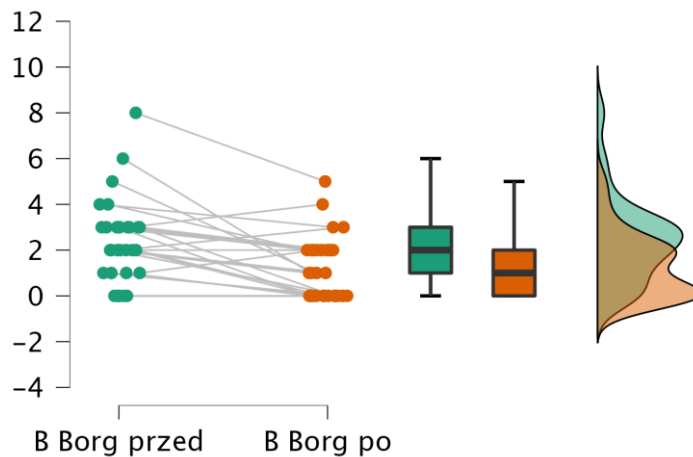
Rycina 26. Porównanie wartości wskaźnika  $FEV_1\%VC$  przed i po rehabilitacji w grupie badanej

Analiza wartości wskaźnika określającego duszność w grupie kontrolnej przed rehabilitacją wykazała medianę na poziomie 2 [0-3], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 2 [0-3]. Nie wykazano statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej ( $p>0,05$ ). Rycina 27 ukazuje zmiany wartości duszności przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



Rycina 27. Porównanie wartości wskaźnika określającego duszność przed i po rehabilitacji w grupie kontrolnej

Analiza wartości wskaźnika określającego duszność w grupie badanej przed rehabilitacją wykazała medianę na poziomie 2 [1-3], natomiast wartość mediany po rehabilitacji 1 [0-2]. Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami przed i po rehabilitacji w grupie badanej ( $p < 0,05$ ). Wartość badanego wskaźnika była istotnie niższa po rehabilitacji. Rycina 28 ukazuje zmiany wartości duszności przed rehabilitacją, w stosunku do wartości po rehabilitacji.



Rycina 28. Porównanie wartości wskaźnika określającego duszność przed i po rehabilitacji w grupie badanej

### VI 2. 3. Analiza międzygrupowa po rehabilitacji

Tabela 12. Różnice międzygrupowe wartości analizowanych wskaźników po ukończonym programie rehabilitacji

	p- value	Effect size
Amlituda ruchu oddechowego		
brzuszny po	0,043	0,499
piersiowy po	0,258	0,197
Dystans	0,033	-0,45
MET	0,033	-0,448

FVC (l)	0,554	-0,037
FVC (%)	0,779	-0,044
FEV1 (l)	0,322	0,196
FEV1 (%)	0,813	0,503
FEV1%VC	0,008	0,774
Duszność	0,048	-0,532

Porównując wyniki oceny amplitudy ruchu oddechowego brzuszego po rehabilitacji w grupie badanej i kontrolnej odnotowano statystycznie istotną różnicę pomiędzy wynikami tej oceny pomiędzy dwoma grupami ( $p < 0,05$ , effect size = 0,499). Jednakże w przypadku wartości przeciętnej wzrost amplitudy ruchu brzuszego w grupie badanej jest wyższy niż w grupie kontrolnej (tabela 12).

Porównując wyniki oceny amplitudy ruchu oddechowego piersiowego po rehabilitacji w grupie badanej i kontrolnej stwierdzono brak statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tej oceny pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = 0,197).

Porównując wyniki dystansu w teście 6MWT dla grupy badanej i grupy kontrolnej po rehabilitacji wykazano statystycznie istotną różnicę pomiędzy wynikami tego testu między dwoma grupami ( $p < 0,05$  effect size = -0,45). Przeciętny wzrost poziomu dystansu w grupie badanej jest istotnie wyższy niż w grupie kontrolnej, przy średnim poziomie efektu (tabela 12).

Porównując wyniki wskaźnika metabolicznego MET w teście 6MWT dla grupy badanej i grupy kontrolnej po rehabilitacji wykazano statystycznie istotną różnicę pomiędzy wynikami tego testu między dwoma grupami ( $p < 0,05$ , effect size = -0,448). Przeciętny wzrost poziomu MET w grupie badanej jest istotnie wyższy niż w grupie kontrolnej, przy średnim poziomie efektu (tabela 12).

Porównując wyniki FVC po rehabilitacji w grupy badanej i grupie kontrolnej stwierdzono, że nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tego testu pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = -0,037). Zmiana wartości przeciętnej FVC w grupie badanej jest zbliżona do wartości w grupie kontrolnej.

Porównując wyniki FVC% po rehabilitacji dla grupy badanej i grupy kontrolnej stwierdzono, że nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tego testu



pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = 0,779). Zmiana wartości przeciętnej FVC% w grupie badanej jest wyższa niż w grupie kontrolnej.

Porównując wyniki FEV<sub>1</sub> po rehabilitacji dla grupy badanej i grupy kontrolnej wykazano, że nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tego testu pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = 0,196). Przyrost wartości przeciętnej FEV<sub>1</sub> w grupie badanej jest bardzo zbliżony do przyrostu zanotowanego w grupie kontrolnej.

Porównując wyniki FEV<sub>1</sub>% po rehabilitacji dla grupy badanej i grupy kontrolnej wykazano, że nie ma statystycznie istotnej różnicy pomiędzy wynikami tego testu pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = 0,503). Zmiana wartości przeciętnej FEV<sub>1</sub>% w grupie badanej jest większa niż zmiana w grupie kontrolnej, przy średniej wielkości efektu.

Porównując wyniki FEV<sub>1</sub>%VC po rehabilitacji dla grupy badanej i grupy kontrolnej wywnioskowano, że występują statystycznie istotne różnice pomiędzy wynikami tego testu pomiędzy dwoma grupami ( $p > 0,05$ , effect size = 0,774). Wartość przeciętna FEV<sub>1</sub>%VC% w grupie badanej istotnie wzrosła po rehabilitacji, a wielkość efektu jest duża.

Porównując wyniki wskaźnika określającego duszność po rehabilitacji dla grupy badanej i grupy kontrolnej stwierdzono statystycznie istotną różnicę pomiędzy wynikami tego testu pomiędzy dwoma grupami ( $p < 0,05$ , effect size = -0,532). Wartość przeciętna wskaźnika w grupie badanej jest niższa od wartości w grupie kontrolnej, przy średniej wielkości efektu.

## VII DYSKUSJA

Przewlekła obturacyjna choroba płuc awansowała niedawno na trzecią przyczynę zgonów na świecie, a prognozy jasno pokazują, iż chorych będzie w kolejnych latach przybywać. Wskazuje się na konieczność rozwijania i modyfikowania istniejących programów rehabilitacji pulmonologicznej, gdyż często ich efekty są dyskusyjne lub niezadawalające. Jednym z komponentów programu usprawniania powinny być ćwiczenia oddechowe zwiększające mobilność ruchu oddechowego brzuszego.

Skuteczność ćwiczeń opartych na ruchu oddechowym przeponowym, których celem jest łagodzenie objawów POChP i poprawa tolerancji wysiłkowej, została potwierdzona przez wielu autorów. Chorzy mają trudności ze zrozumieniem czym jest ruch przeponowy i kiedy przepona jest odpowiednio angażowana. Biofeedback mógłby pomóc nauczyć chorych takiego treningu. Potwierdzono już wielokrotnie jego skuteczność w innych dziedzinach rehabilitacji, gdzie pomagał chorym przyswajać zasady wykonywania ćwiczeń. Biofeedback mógłby stać się atrakcyjną formą treningu, która nie tylko poprawi stan chorego ale również zmniejszy czas i liczbę hospitalizacji chorych na POChP.

W badaniach własnych przeprowadzono test walidacyjny, aby ocenić czy wyniki pomiaru amplitudy ruchu oddechowego piersiowego i brzuszego za pomocą aparatu BioGraph Infiniti są zbieżne z innymi stosowanymi metodami pomiaru tej amplitudy. Podczas pomiaru amplitudy w zakresie maksymalny wdech – maksymalny wydech, jednocześnie za pomocą taśmy krawieckiej oraz aparatu BioGraph Infiniti, uzyskano wyniki zbieżne. Zbieżność wykazano również pomiarami wykonywanymi przez dwóch różnych badaczy. Także wyniki otrzymywane podczas 3 pomiarów, 2 w danym dniu i 1 w dniu następnym nie różniły się istotnie, wskazując na wysoką powtarzalność. W związku z tym można przyjąć, że jakość wyników nie zależy ani od wybranej metody pomiaru, ani od osoby je wykonującej. Peper dokonał walidacji tego samego aparatu (BioGraph Infiniti), ale z innymi czujnikami tensometrycznymi, w starszej wersji. W swoich badaniach zastosował czujniki tensometryczne, które mierzyły dystans pomiędzy punktami zaczepienia gumowej tuby, będącej centralnym elementem czujnika. Badał on na 14 czujnikach używanych na co dzień w laboratorium biofeedbacku wiarygodność i

powtarzalność wyników. Oceniał wyniki wskazywane przez aparat, przy rozciąganiu czujników w laboratorium co 5mm, jak również porównywał powtarzalność pomiarów po miesiącu. W badaniu nie wykazał liniowości odczytów podczas stopniowego rozciągania czujników. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdził, że aby mieć pewność, iż te czujniki dają zbieżne sygnały, ich napięcie początkowe musi być podobne. Zaproponował, aby w tym celu zmierzyć po założeniu czujników odległość między końcami gumowej tuby. Odległość ta powinna być jednakowa. W praktyce, szczególnie w badaniu chorego, ta metoda mogłaby być uciążliwa i zawodna.

Obecne czujniki, które również stosowano w badaniu własnym, według producenta są pozbawione wad, które miały czujniki w starszej wersji, a które badał Peper. Peper zaznaczył, iż Thought Technology LTD deklaruje, iż w nowych czujnikach wyniki, w zależności od napięcia, są ułożone liniowo, a rozbieżność pomiędzy czujnikami jest niewielka. Pozytywne wyniki walidacji uzyskane w badaniach własnych mogą pośrednio potwierdzać tę tezę.

Walidację podobnie działającego urządzenia wykonał Nishigaki. Jego zespół skonstruował urządzenie BREATH, również oparte na elastycznych paskach, mogące mierzyć rozszerzalność oddechową klatki piersiowej. Elastyczne paski dostosowują swój obwód do zmieniającego się obwodu klatki piersiowej badanego. Czujnik wykrywa zmianę długości paska, przesyłając wynik na bieżąco do kodera, a ten dalej przesyła dane w postaci liczbowej do komputera. Komputer ukazuje aktualny wynik oraz trend szacowany z ostatnich 10 oddechów. Nishigaki wykonał badanie walidacyjne swojego urządzenia na 33 zdrowych osobach, porównując wyniki z pomiarami taśmą centymetrową. Pasek z czujnikiem był zapięty na klatce piersiowej, a długość taśmy centymetrowej dostosowywano do aktualnego obwodu klatki piersiowej. Pomiar wykonywano podczas maksymalnego wdechu oraz maksymalnego wydechu. Badanie wykonywało w ten sam sposób trzech badających. Badanie powtarzano trzykrotnie. Nishigaki uzyskał wysoką zbieżność wyników pomiędzy badaczami. Wartości uzyskane w teście ICCs mieściły się w przedziale ICCs =0,9-0,94 dla BREATH oraz 0,85-0,94 dla taśmy mierniczej. Współczynnik korelacji Pearsona w porównaniu pomiaru taśmą centymetrową oraz urządzeniem BREATH wyniósł 0,76-0,87 dla trzech badaczy, co wskazuje na wysoką przydatność urządzenia BREATH w pomiarze amplitudy ruchu oddechowego. Badania

autora wskazują również na wyższą powtarzalność wyników aparatem BREATH niż taśmą centymetrową (Nishigaki i wsp., 2013). W badaniach własnych stwierdzono również wysoką powtarzalność wyników w teście ICCs. Średnia wartość współczynnika korelacji w teście ICCs dla pojedynczego terapeuty wyniosła 0,79. Średnia wartość współczynnika korelacji dla dwóch badających w teście ICCS wyniosła 0,88. Także Liu opracowując własne czujniki rozszerzalności oddechowej klatki piersiowej i brzucha wykonał walidację porównując wyniki z tymi otrzymanymi za pomocą taśmy mierniczej. Uzyskał on w badaniach wartość współczynnika ICCs na poziomie 0,94-0,98, wskazując na rzetelność i powtarzalność pomiarów (Liu i wsp., 2017).

Pomiar rozszerzalności klatki piersiowej wydaje się być dobrą metodą diagnostyczną oraz terapeutyczną. W japońskich wytycznych do rehabilitacji pulmonologicznej pomiar taśmą krawiecką ruchu oddechowego zalecany jest jako standardowe postępowanie (JSRCR, 2003). Bockenbauer przeprowadziła walidację pomiaru ruchu oddechowego taśmą mierniczą. Trzech doświadczonych terapeutów dokonywało pomiarów na dwóch różnych poziomach klatki piersiowej, zapisując wynik dla maksymalnego wdechu oraz maksymalnego wydechu. Wynik testu ICCs porównujący parametry otrzymane przez różnych terapeutów wahał się między 0,81 a 0,99, wskazując na wysoką rzetelność pomiarów. Wartość odchylenia standardowego na poziomie 0,5-0,8 (średnia 0,6cm), przy porównaniu wyników uzyskanych dla poszczególnych badanych, wskazuje jednak według autora na przydatność tej metody u badanych, u których przewiduje się amplitudę ruchu oddechowego powyżej 0,6cm (Bockenbauer i wsp., 2007). Równie wysokie poziomy współczynnika korelacji dla pomiarów taśmą centymetrową wykazał Custers. Badanie wykonał na 33 dzieciach chorych na mukowiscydozę, w których rehabilitacji badanie amplitudy ruchu oddechowego jest standardowym postępowaniem. Custers uzyskał wynik korelacji Pearsona oraz testu ICCs odpowiednio 0,96 i 0,95, co potwierdza tezę, iż badanie taśmą centymetrową jest użytecznym narzędziem w ocenie amplitudy oddechowej (Custers i wsp., 2004). Wydaje się zatem, że ocena amplitudy ruchu oddechowego zajmuje ważne miejsce w ocenie chorych pulmonologicznie, a obie metody – pomiar taśmą centymetrową oraz pomiar z użyciem aparatów z czujnikami tensometrycznymi obejmującymi klatkę piersiową oraz brzuch – są wiarygodne i powtarzalne. W badaniach własnych badający W był doświadczonym fizjoterapeutą,

fizjoterapeuta K krótko po uzyskaniu dyplomu. Uzyskane dane z badań własnych wskazują na zbieżność wyników, niezależnie od doświadczenia fizjoterapeuty.

Istotnym zagadnieniem podczas pomiaru amplitudy maksymalnego wdechu i maksymalnego wydechu jest rodzaj komendy zadanej badanemu. W badaniu własnym użyto komend „weź maksymalny wdech i stań się tak duży jak to tylko możliwe” oraz „zrób maksymalny wydech i stań się tak szczupły jak to tylko możliwe”. Olsen-Fagevik wykazała, iż taka komenda pozwala badanemu lepiej zrozumieć charakter czynności, którą chcemy, aby zaprezentował. Porównując tego typu komendy, do komendy krótkiej „weź maksymalny wdech” oraz „zrób maksymalny wydech” Olsen-Fagevik pokazała, że pomiar w przypadku komend dłuższych, opisujących właściwy sposób wykonania oddechu, wykazuje wartości amplitudy istotnie wyższe o 0,9-1,4cm (Olsen-Fagevik, 2011).

W badaniach własnych wykazano wysokie, istotne zwiększenie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego w grupie badanej. Ze względu na złożoność zagadnienia ocena bezpośredniej przyczyny uzyskanego efektu jest trudna. Na podstawie dostępnej literatury można wnioskować, że mógł się na to złożyć wzrost mobilności przepony, wzrost siły przepony oraz zwiększenie świadomości chorych dotyczących swojego oddechu. Obserwacja swojego oddechu, w tym przypadku dzięki obrazowaniu na monitorze używanego w procesie oddychania toru oddechowego, jest skuteczną metodą w reedukacji chorych na POChP. Chorzy uczestniczyli w badaniu chętnie, dzięki prostej i atrakcyjnej formie treningu. W przypadku innych ćwiczeń oddechowych chorzy często nie rozumieją poleceń mających na celu skorygowanie toru oddechowego. Wyświetlenie na ekranie monitora jasnej informacji dla chorego, przy dodatkowej zachęcie akustycznej w postaci muzyki, wskazywało czy chory oddycha w taki sposób, jak wymaga się od niego, czy też nie.

W badaniach własnych nie wykazano istotnej zmiany amplitudy ruchu oddechowego piersiowego, ani w grupie kontrolnej, ani w badanej. Celem badania była mobilizacja ruchu oddechowego brzuszego, gdyż słuszność tego typu interwencji wielokrotnie potwierdzono w literaturze. Podjęta interwencja polegająca na zwiększeniu ruchu oddechowego brzuszego ani nie podwyższyła ani nie obniżyła w sposób istotny ruchu oddechowego piersiowego. Niemniej terapia oparta na biofeedbacku w kierunku zwiększenia mobilności i elastyczności klatki piersiowej u chorych na POChP wydaje się

również zasadna. Zastosowany w badaniu biofeedback BioGraph Infinity daje możliwość ćwiczenia zarówno toru brzuszego jak i piersiowego. Ando zbadał możliwość zwiększenia amplitudy ruchu oddechowego piersiowego, dzięki zastosowaniu biofeedbacku wzrokowego. System oparty na czujniku połączonym z taśmą, którą oplata się tułów w celu badania ruchu oddechowego, był w pewnym stopniu zbliżony do tego, który zastosowano w badaniach własnych, choć nie jednakowy (w badaniach Ando zastosowano czujnik Microtech Laboratory Inc, MLS-30). Ando w badaniu prowadzonym na 30 młodych, zdrowych osobach (średnia wieku  $24.5 \pm 2.4$ ) porównał amplitudę ruchu oddechowego piersiowego pomiędzy maksymalnym wdechem a maksymalnym wydechem. Średnia amplituda ruchu oddechowego była 17% większa w momencie, gdy badani mogli obserwować na ekranie swój aktualny wskaźnik głębokości oddechu, aniżeli wtedy, gdy nie mieli takiej możliwości. Pokazuje to, że biofeedback natychmiast poprawia amplitudę ruchu oddechowego, wskazując na możliwe zastosowanie tego treningu również u chorych pulmonologicznych (Ando i wsp., 2012). Tabata opracował równanie wykazujące związek pomiędzy VC a rozszerzalnością klatki piersiowej (Tabata i Kozu, 1996). Zatem przeliczając wg tego równania wyniki uzyskane przez Ando, wskaźnik VC mógł być w tamtym badaniu podniesiony o 354ml.

Custers w swoich badaniach prowadzonych na dzieciach z mukowiscydozą ocenił korelację pomiędzy amplitudą ruchu oddechowego piersiowego a funkcją płuc. Odnotowany wynik na poziomie 0,44 wskazuje na średnią korelację pomiaru z funkcją płuc (Custers i wsp., 2005). Inne wyniki w swoich badaniach osiągnął Malaguti. Zmierzył on taśmą mierniczą amplitudę ruchu oddechowego piersiowego oraz brzuszego u chorych na POChP, porównując dane z wynikiem spirometrii. Nie wykazał korelacji pomiarów na poziomie klatki piersiowej z parametrami oddechowymi ocenianymi w badaniu spirometrycznym. Stwierdził jednak korelację pomiędzy pojemnością wdechową a amplitudą ruchu oddechowego brzuszego (Malaguti i wsp., 2009). Istnienie korelacji pomiędzy pogorszeniem funkcji płuc a ruchomością przepony zostało potwierdzone w wielu innych badaniach. Stwierdza się zmniejszenie wskaźników FVC, MVV, a także wzrost obturacji u osób ze zmniejszoną ruchomością oddechową (Yamaguti i wsp., 2009; Sinderby i wsp., 2001). W badaniach własnych oceniano mi.in. wskaźnik FEV<sub>1</sub>, który u chorych na POChP dobrze koreluje ze stopniem zaburzeń funkcji płuc. Zanotowano jego

istotną zmianę. Odnotowano także istotny wzrost wskaźnika  $FEV_1\%VC$  grupie badanej. Uzyskany wynik może wskazywać, że choć u chorych na POChP fizjoterapia ma niewielki wpływ na obturację, to wzmocnienie amplitudy ruchu brzuszego może poprawiać parametry oddechowe. Rocha potwierdził, że mobilność przepony wysoko koreluje z  $FEV_1$ , FVC,  $FEV_1/FVC$  i może jednocześnie wskazywać na zaburzenia mechaniki oddychania (Rocha, 2017). Również Zheng potwierdził korelację zarówno ruchomości jak i siły przepony ze wskaźnikiem  $FEV_1$  (Zheng i Zhu, 2017; Zhneg i wsp., 2003).

W literaturze pojawiają się publikacje, w których bada się możliwość zmiany innych parametrów oddechowych podczas treningu z zastosowaniem biofeedbacku u chorych na POChP. Wskazuje to na aktualność zagadnienia, ale również jego dużą złożoność. Collins badał zastosowanie feedbacku akustycznego, informującego chorego o właściwym rytmie oddechowym podczas 3-miesięcznego programu rehabilitacji. Badani uczestniczyli jednocześnie w programie rehabilitacji pulmonologicznej, a ich wyniki porównano z grupą kontrolną, która uczestniczyła w programie rehabilitacji bez ćwiczeń biofeedback. W badaniu nie stwierdzono poprawy wydolności wysiłkowej ani funkcji płuc ocenianej w badaniu spiroergometrycznym (Collins i wsp., 2019). Courtney zajął się zagadnieniem modyfikacji zmienności rytmu serca u osób, u których zdiagnozowano dysfunkcje w zakresie wzorca oddechowego. Nieprawidłowy wzorzec oddechowy może być związany z obniżoną zdolnością do uzyskania wzorca HRV, który odzwierciedla wydolność układu krążeniowo-oddechowego oraz balans w autonomicznym układzie nerwowym. Sugeruje to, że zaburzenia wzorca oddechowego mają podłoże nie tylko biomechaniczne, ale również psychologiczne. W badaniach udowodniono, że dominacja wzorca piersiowego może być związana z brakiem koherencji HRV (Courtney i wsp., 2011).

W badaniu własnym osiągnięto zmniejszenie duszności mierzonej w spoczynku w grupie, która uczestniczyła w treningu mięśni oddechowych metodą biofeedback. Wynik był o 1 stopień niższy w skali Borga po zakończeniu programu rehabilitacji. W grupie kontrolnej nie zauważono istotnej zmiany. W literaturze znaleźć można sprzeczne doniesienia na temat wpływu rehabilitacji pulmonologicznej, jak i samych ćwiczeń oddechowych, na poziom duszności. Mendes badając wpływ ćwiczeń oddechowych torem brzuszonym na poziom duszności u chorych nie uzyskała istotnej zmiany (Mendes i wsp.,

2019). Bardziej kompleksowe badania prowadził Beaumont, badając poziom duszności u chorych na POChP w stopniu ciężkim i bardzo ciężkim. Porównując 4 tygodniowy program rehabilitacji pulmonologicznej, z programem do którego dołączono trening mięśni wdechowych. Beaumont zaobserwował zmniejszenie poziomu duszności po wykonywanym teście 6MWT w obu grupach, lecz bez istotnej różnicy między grupami (wynik odpowiednio niższy o 1,4 i 1 stopień w skali Borga) (Beaumont i wsp., 2018). W piśmiennictwie dostępne są również doniesienia, potwierdzające korzystny wpływ długotrwałego treningu mięśni wdechowych na poziom duszności. Beckerman porównywał duszność u osób, które przez okres 1 roku ćwiczyły mięśnie wdechowe, z osobami które przez rok wykonywały ćwiczenia o bardzo małych obciążeniach. W grupie wykonującej ćwiczenia mięśni wdechowych zauważył istotne zmniejszenie poziomu duszności. (Beckerman i wsp., 2005). Również Convey, badając wpływ 16-tygodniowego programu ćwiczeń wdechowych zauważył istotne zmniejszenie poziomu duszności (Convey i wsp., 2001). Ciekawe wyniki osiągnęła Magadle. Swoje badania podzieliła na dwie części. W pierwszej wszyscy chorzy uczestniczyli w 3 miesięcznym programie ćwiczeń ogólnousprawniających o charakterze wytrzymałościowym. Duszność obniżyła się średnio o 10%. W drugiej fazie badań, trwającej 6 miesięcy, grupa kontrolna uczestniczyła w dalszym ciągu w ćwiczeniach ogólnousprawniających, natomiast grupie badanej włączono do programu ćwiczenia mięśni wdechowych. Tylko w grupie kontrolnej zanotowano istotne zmniejszenie duszności, średnio o 25%. Grupa kontrolna, mimo regularnego treningu ogólnousprawniającego, nie wykazała dalszej istotnej poprawy stopnia duszności (Magadle i wsp., 2007).

Niektórzy autorzy twierdzą, że duszność może nasilać się podczas ćwiczeń oddechowych, ze względu na aktywację dodatkowych mięśni wdechowych (Cahalin i wsp., 2002; Vitacca i wsp., 1998). Natomiast samo oddychanie torem brzuszny, bez angażowania dodatkowych mięśni oddechowych, nie powinno pogarszać samopoczucia chorych. Jones, porównując swobodne oddychanie oraz ćwiczenie oddychania torem przeponowym, stwierdziła że mocniejsze angażowanie się chorych w oddychanie przeponowe nie zwiększa stopnia duszności (Jones i wsp., 2003). Rocha wykazał, że zmniejszona mobilność przepony może mieć wpływ na poziom duszności. Pozycja przepony u chorych na POChP utrudnia wentylację i zwiększa odczucie duszności (Rocha



i wsp., 2017). Zagadnienie to wydaje się być ciekawym pod kątem dalszych badań. Być może ocena przepony w badaniu USG pokazałaby, czy osiągnięta poprawa w badaniu własnym wynika ze zmiany w obrębie samej przepony.

W badaniu własnym uzyskano w teście 6MWT w grupie trenującej oddech z użyciem biofeedbacku średnią wartość mediany na poziomie 37,5m, co było wynikiem istotnie wyższym niż w grupie kontrolnej. Wskazuję to na dużą skuteczność treningu biofeedback w poprawie tolerancji wysiłku fizycznego chorych. Holland w badaniu przeglądowym dotyczącym efektywności treningu oddechowego u chorych na POChP ocenił, iż średnia poprawa wydolności wysiłkowej oceniana w teście 6MWT, u chorych trenujących oddychanie torem brzuszny wynosi 35 metrów (Holland i wsp., 2012). Wyniki uzyskane przez Holland były zatem zbieżne z badaniami własnymi. Holland wskazał jednocześnie, że sam stosowany trening oddechowy w postaci wizualnego biofeedbacku mniej poprawia wydolność wysiłkową, ocenianą testem 6MWT, niż ćwiczenia oddechowe (Holland i wsp., 2012).

W literaturze wskazuje się, że podczas ćwiczeń oddechowych chory często boryka się z utrzymaniem właściwej motywacji do ćwiczeń oraz brakiem świadomości co do jakości swojego oddechu. Może to prowadzić do frustracji i niechęci do ćwiczeń (Blum i wsp., 2020; Pisa i wsp., 2017; Soyka i wsp., 2016). Biofeedback oddechowy zastosowany w badaniach własnych był bardzo dobrze tolerowany przez chorych. Żadna z osób uczestniczących w badaniach nie zrezygnowała, mimo iż część osób zgłaszała, że trening oddechowy toru brzuszny nie jest prosty i powoduje chwilowe zmęczenie. Obecna technika daje wiele możliwości uatrakcyjnienia treningu, od prostych gier sterowanych danymi płynącymi z czujników ruchu oddechowego, po trening w wirtualnej rzeczywistości. Tego typu gry dały by pacjentowi motywację do zdobywania punktów, osiągnięcia w kolejnych sesjach coraz lepszych wyników czy rywalizacji. Efektywność i satysfakcję z treningu wirtualnej rzeczywistości w innych dziedzinach fizjoterapii została potwierdzona w licznych badaniach (Palacios-Cena i wsp., 2016; Proffitt i Lange, 2015; Rutkowski i wsp. 2019; Vernadakis i wsp., 2014;). Blum połączył środowisko wirtualnej rzeczywistości z biofeedbackiem oddechowym. W wirtualnym świecie chory steruje rzeczywistością poprzez ruch oddechowy brzuszny. W systemie postawiono nacisk na zachęcenie chorego do głębokiego, spokojnego oddychania torem brzuszny. W

pilotażowych badaniach Blum wykazał podwyższenie świadomości oddechu oraz wpływ na zmianę toru oddechowego (Blum i wsp., 2020).

W badaniach własnych oceniano wpływ biofeedbacku na zmianę amplitudy ruchu oddechowego brzuszego. Wydaje się, że kontynuacja badań powinna obejmować badanie wpływu ćwiczeń opartych na biofeedbacku na inne parametry oddechowe, jak częstotliwość oddechu czy długość poszczególnych faz oddychania (wdech, wydech, zatrzymanie oddechu).

Istnieją nieliczne publikacje, które wykazały brak pozytywnych rezultatów biofeedbacku oddechowego. Gestel postanowił porównać wpływ treningu biofeedbacku oddechowego u chorych na POChP. Podzielił 40 badanych na 2 grupy. Chorzy z grupy kontrolnej i badanej uczestniczyli w 3-4 tygodniowym programie rehabilitacji pulmonologicznej, zawierającym 10 sesji treningowych ćwiczeń krążeniowo-oddechowych. Dodatkowo grupa badana uczestniczyła w 10-ciu 30-minutowych sesjach biofeedback, których celem była zmiana toru oddechowego na brzuszny. Zwracano również uwagę na regularność i głębokość oddechów. Gestel oceniał funkcję płuc w badaniu spirometrycznym i bodypletyzmozografii, wydolność wysiłkową testem 6MWT, jakość życia kwestionariuszem CRQ, zmienność rytmu serca za pomocą urządzenia Nexus-10 TM. W badaniu nie wykazał istotnej różnicy pomiędzy grupami w zakresie dystansu uzyskanego w teście 6MWT, aczkolwiek obie grupy istotnie poprawiły swoje wyniki. Ponadto nie wykazano istotnych różnic pomiędzy wynikami oceny jakości życia, funkcji płuc i zmienności rytmu serca (Van Gestel, 2012).

Badania własne potwierdziły skuteczność treningu ruchu oddechowego brzuszego przy zastosowaniu biofeedbacku. Amplituda ruchu oddechowego po zakończonym programie rehabilitacji pulmonologicznej istotnie zwiększyła się u chorych w grupie badanej. Jednocześnie poprawa tolerancja wysiłku fizycznego w teście 6MWT wyrażona dystansem oraz wskaźnikiem MET była istotnie wyższa w grupie badanej niż w grupie kontrolnej. W grupie badanej uzyskano ponadto zmniejszenie duszności oraz wzrost wskaźnika Tiffeneau. Trening w badaniach własnych nie był ukierunkowany na poprawę amplitudy ruchu oddechowego piersiowego, jednak brak zmian tego wskaźnika w obu grupach może wskazywać na brak wpływu klasycznego programu rehabilitacji pulmonologicznej na ruchomość i elastyczność klatki piersiowej.

Wyniki badań własnych wskazują, że włączenie treningu brzuszno-torowego opartego na biofeedbacku jest zasadne, ponieważ poprawia wyniki programu rehabilitacji pulmonologicznej. Potwierdzono wpływ biofeedbacku oddechowego na mechanikę oddychania, poprzez zwiększenie amplitudy ruchu oddechowego brzuszno-torowego. Efektem zastosowania treningu była poprawa niektórych parametrów określających czynność wentylacyjną płuc, poprawa tolerancji wysiłku fizycznego i zmniejszenie poziomu duszności odczuwanej przez chorych. Uzyskane wyniki znalazły potwierdzenie w dostępnym piśmiennictwie. Przedstawione dane wskazują na zasadność stosowania programu rehabilitacji pulmonologicznej zawierającego ćwiczenia wykorzystujące efekt biofeedbacku.

## VIII WNIOSKI

1. Wykazano, że pomiary aparatem wykorzystującym biofeedback są powtarzalne i wiarygodne.
2. Stwierdzono zwiększenie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego po zastosowaniu treningu oddechowego opartego na biofeedbacku. Amplituda ruchu piersiowego nie uległa istotnej zmianie.
3. Wykazano istotnie wyższą poprawę tolerancji wysiłku fizycznego ocenianą testem 6MWT w grupie, w której do treningu użyto biofeedbacku.
4. Stwierdzono istotny wpływ treningu biofeedback na wybrane wskaźniki określające czynność wentylacyjną płuc oraz duszność.
5. Wykazano, że trening oddechowy oparty na biofeedbacku można włączyć do programu fizjoterapii pulmonologicznej.

## IX PIŚMIENICTWO

1. Agustí A, Vogelmeier C, Faner R. COPD 2020: changes and challenges. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2020;319(5):879-883.
2. Ali MS, Talwar D, Jain SK. The effect of a short-term pulmonary rehabilitation on exercise capacity and quality of life in patients hospitalised with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Indian J Chest Dis Allied Sci* 2014, 56(1): 13-19.
3. Al-Shair K, Kolsum U, Singh D, Vestbo J. The Effect of Fatigue and Fatigue Intensity on Exercise Tolerance in Moderate COPD. *Lung* 2016, 194(6): 889-895.
4. Alter A, Aboussouan LS, Mireles-Cabodevila E. Neuromuscular weakness in chronic obstructive pulmonary disease: chest wall, diaphragm, and peripheral muscle contributions. *Curr Opin Pulm Med.* 2017;23(2):129–138
5. Ambrosino N, Simonds A. The clinical management in extremely severe COPD. *Respir Med.* 2007;101(8):1613–1624.
6. Ando T, Kawamura K, Fujitani J, Koike T, Nishigaki Y, Mizuguchi H, Fugimoto M, Fujie MG. Biofeedback effect of thoracic excursion in chest expansion training. *Journal of Biomechanical Science and Engineering* 2012, 7(3): 328-334.
7. Arne M, Janson C, Janson S, Boman G, Lindqvist U, Berne C, Emtner M. Physical activity and quality of life in subjects with chronic disease: chronic obstructive pulmonary disease compared with rheumatoid arthritis and diabetes mellitus. *Scand J Prim Health Care* 2009;27(3):141-147.
8. Barnes PJ, Shapiro SD, Pauvels RA. Chronic obstructive pulmonary disease: molecular and cellular mechanisms. *Eur Respir J* 2003, 22: 672-688.
9. Basso- Vanelli RP, Di Lorenzo VA, Labadessa IG, Regueiro EM, Jamami M, Gomes EL, Costa D. Effects of Inspiratory Muscle Training and Calisthenics-and-Breathing Exercises in COPD With and Without Respiratory Muscle Weakness. *Respir Care.* 2016;61(1):50-60.
10. Batura-Gabryel H, Kamińska-Kuźnar B. Nowe spojrzenie na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP) — problem chorób współistniejących. *Przew. Lek* 2007, 3: 98–101.

11. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reychler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: a systematic review and metaanalysis. *Clin Respir J* 2018;12(7):2178-2188.
12. Beaumont M, Mialon P, Le Ber C, Le Mevel P, Péran L, Meurisse O, Morelot-Panzini C, Dion A, Couturaud F. Effects of inspiratory muscle training on dyspnoea in severe COPD patients during pulmonary rehabilitation: controlled randomised trial. *Eur Respir J*. 2018;51(1):1701107.
13. Beckerman M, Magadle R, Weiner M, Weiner P. The effects of 1 year of specific inspiratory muscle training in patients with COPD. *Chest*. 2005;128(5):3177-3182.
14. Berry CE, Wise RA. Mortality in COPD: causes, risk factors, and prevention. *COPD*. 2010;7(5):375-382.
15. Biofeedback Effect of Thoracic Excursion in Chest Expansion Training
16. Blair SN, Sallis RE, Hutber A, Archer E. Exercise therapy—the public health message. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2012;22: 24–28.
17. Blum J, Rockstroh C, Göritz AS. Development and Pilot Test of a Virtual Reality Respiratory Biofeedback Approach. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2020;45(3):153-163.
18. Bockenbauer SE, Chen H, Julliard KN, Weedon J. Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. *J Am Osteopath Assoc*. 2007;107(5):191-196.
19. Bohannon RW. Number of pedometer-assessed steps taken per day by adults: a descriptive meta-analysis. *Phys Ther* 2007; 87(12):1642-1650.
20. Borg E, Borg G, Larsson K, Letzter M, Sundblad B. An index for breathlessness and leg fatigue. *Scand J Med Sci Sports* 2010, 20(4): 644-650.
21. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports* 2006, 16: 57–69.
22. Borge CR, Hagen KB, Mengshoel AM, Omenaas E, Moum T, Wahl AK Effects of controlled breathing exercises and respiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: results from evaluating the quality of evidence in systematic reviews. *BMC Pulm Med* 2014;14(1):1

23. Borge CR, Hagen KB, Mengshoel AM, Omenaas E, Moum T, Wahl AK. Effects of controlled breathing exercises and respiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: results from evaluating the quality of evidence in systematic reviews. *BMC Pulm Med* 2014;14:184.
24. Cahalin LP, Braga M, Matsuo Y, Hernandez ED. Efficacy of dia- phragmatic breathing in persons with chronic obstructive pulmonary disease: a review of the literature. *J Cardiopulm Rehabil* 2002;22(1): 7-21
25. Cameron-Tucker HL, Wood-Baker R, Owen C, Joseph L, Walters EH. Chronic disease self-management and exercise in COPD as pulmonary rehabilitation: a randomized controlled trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2014;9:513-523.
26. Casaburi R, ZuWallack R. Pulmonary rehabilitation for management of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 2009, 26;360(13): 1329-1335.
27. Cavallès A, Brinchault-Rabin G, Dixmier A, Goupil F, Gut-Gobert C, Marchand-Adam S, Meurice JC, Morel H, Person-Tacnet C, Leroyer C, Diot P. Comorbidities of COPD. *Eur Respir Rev.* 2013;22(130):454-475.
28. Celli BR, Decramer M, Wedzicha JA, Wilson KC, Agusti A, Criner GJ, MacNee W, Make BJ, Rennard SI, Stockley RA, Vogelmeier C, Anzueto A, Au DH, Barnes PJ, Burgel PR, Calverley PM, Casanova C, Clini EM, Cooper CB, Coxson HO, Dusser DJ, Fabbri LM, Fahy B, Ferguson GT, Fisher A, Fletcher MJ, Hayot M, Hurst JR, Jones W, Mahler DA, Maltais F, Mannino DM, Martinez FJ, Miravittles M, Meek PM, Papi A, Rabe KF, Roche N, Sciurba FC, Sethi S, Siafakas N, Sin DD, Soriano JB, Stoller JK, Tashkin DP, Troosters T, Verleden GM, Verschakelen J, Vestbo J, Walsh JW, Washko GR, Wise RA, Wouters EF, ZuWallack RL. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: research questions in COPD. *Eur Respir J* 2015, 45: 879-905.
29. Chaitow L, Bready D, Gilbert C, Ley R. *Multidisciplinary Approaches to Breathing Pattern Disorders.* Amsterdam: Elsevier B.V.; 2013. The structure and function of breathing; pp. 1–41.
30. Chatila WM, Thomashow BM, Minai OA, Criner GJ, Make BJ. Comorbidities in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Proc Am Thorac Soc* 2008, 5: 549–555.

31. Collins EG, Jelinek C, O'Connell S, Butler J, Reda D, Laghi F. The Effect of Breathing Retraining Using Metronome-Based Acoustic Feedback on Exercise Endurance in COPD: A Randomized Trial. *Lung*. 2019;197(2):181-188.
32. Corder GW, Foreman DI. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2009:99–105.
33. Courtney R, Cohen M, van Dixhoorn J. Relationship between dysfunctional breathing patterns and ability to achieve target heart rate variability with features of "coherence" during biofeedback. *Altern Ther Health Med*. 2011;17(3):38-44.
34. Covey MK, Larson JL, Wirtz SE, Berry JK, Pogue NJ, Alex CG, Patel M. High-intensity inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease and severely reduced function. *J Cardiopulm Rehabil*. 2001;21(4):231-240
35. Custers JW, Arets HG, Engelbert RH, Kooijmans FT, van der Ent CK, Helders PJ. Thoracic excursion measurement in children with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros*. 2005;4(2):129-133.
36. Cvejic L, Bardin PG. Breathing–swallow dysfunction in COPD: How silent aspiration may be contributing to exacerbations. *Respirology*. 2021;26(12):1110-1111
37. Davachi B, Lari SM, Attaran D, Tohidi M, Ghofraniha L, Amini M, et al. The relationship between diaphragmatic movements in sonographic assessment and disease severity in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *J Cardiothorac Med*. 2014; 2(3):187-192.
38. Dekker JM, Crow RS, Folsom AR, Hannan PJ, Liao D, Swenne CA, Schouten EG. How Heart Rate Variability in a 2-Minute Rhythm Strip Predicts Risk of Coronary Heart Disease and Mortality From Several Causes, 2000;102:1239–1244
39. Divine GW, Norton HJ, Barón AE, Juárez-Colunga E. The Wilcoxon–Mann–Whitney Procedure Fails as a Test of Medians. *Am. Stat*. 2018, 72: 278–286.
40. Dos Santos Yamaguti WP, Paulin E, Shibao S, Chammas MC, Salge JM, Ribeiro M, Cukier A, Carvalho CR. Air trapping: The major factor limiting diaphragm mobility in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Respirology*. 2008;13(1):138-144.



41. Dourado VZ, Tanni SE, Antunes LC, Paiva SA, Campana AO, Renno AC, Godoy I. Effect of three exercise programs on patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Braz J Med Biol Res.* 2009, 42(3): 263-271.
42. Drummond MB, Wise RA, John M, Zvarich MT, McGarvey LP. Accuracy of death certificates in COPD: analysis from the TORCH trial. *COPD* 2010; 7(3):179–185.
43. Egan C, Deering BM, Blake C, Fullen BM, McCormack NM, Spruit MA, Costello RW. Short term and long term effects of pulmonary rehabilitation on physical activity in COPD. *Respir Med* 2012, 106(12) :1671-1679.
44. Escamilla-Nunez R, Michelini A, Andrysek J. Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review. *Sensors (Basel).* 2020;20(6):1628.
45. Fabbri LM, Luppi F, Beghe B, Rabe KF. Complex chronic comorbidities of COPD. *Eur Respir J* 2008, 31: 204–212.
46. Fagevik-Olsen M, Linddtrand H Broberg JL, Westerdahl E. Measuring chest expansion; A study comparing two different instructions. *Advances in Physiotherapy*, 2011; 13: 128–132
47. Genthe K, Schenck C, Eicholtz S, Zajac-Cox L, Wolf S, Kesar TM. Effects of real-time gait biofeedback on paretic propulsion and gait biomechanics in individuals post-stroke. *Top Stroke Rehabil.* (2018)25:186–93.
48. Giggins OM, Persson UM, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2013 18;10:60.
49. Gloeckl R, Marinov B, Pitta F. Practical recommendations for exercise training in patients with COPD. *Eur Respir Rev.* 2013;22(128):178-186.
50. Gonçalves MA, Leal BE, Lisboa LG, Tavares MGS, Yamaguti WP, Paulin E. Comparison of diaphragmatic mobility between COPD patients with and without thoracic hyperkyphosis: a cross-sectional study. *J Bras Pneumol.* 2018;44(1):5-11.
51. Górecka D, Jassem E, Pierzchała W, Śliwiński P. Zalecenia Polskiego Towarzystwa Chorób Płuc dotyczące rozpoznawania i leczenia przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP). *Pneumonol Alergol Pol* 2012, 80(3): 220-254.

52. Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel SP, Segers J, Decramer M, Kwakkel G. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J* 2011;37(2):416-425.
53. Groshans PEGH, Johnston J, Harvey R, Shaffer F. Calibrating Respiratory Strain Gauges: What the Numbers Mean for Monitoring Respiration. *Biofeedback* 1 June 2016; 44 (2): 101–105
54. Halbert RJ, Natoli JL, Gano A. Global burden of COPD: systematic review and metaanalysis. *Eur Respir J* 2006, 28(3): 34-43.
55. Halpin DM, Decramer M, Celli B, Kesten S, Liu D, Tashkin DP. Exacerbation frequency and course of COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2012(7):653-661.
56. Holland AE, Hill CJ, Jones AY, McDonald CF. Breathing exercises for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;10.
57. Hollands KL, Pelton TA, Tyson SF, Hollands MA, van Vliet PM. Interventions for coordination of walking following stroke: systematic review. *Gait Posture.* (2012) 35:349–59
58. Jácome C, Marques A. Short- and Long-term Effects of Pulmonary Rehabilitation in Patients With Mild COPD: a comparison with patients with moderate to severe COPD. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2016, 36(6): 445-453.
59. Jones AY, Dean E, Chow CC. Comparison of the oxygen cost of breathing exercises and spontaneous breathing in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. *Phys Ther* 2003; 83(5):424-431.
60. Kaja R, Vaiyapuri A, Sirajudeen MS, Muthusamy H, Unnikrishnan R, Waly M, Devaraj SSD, Seyam MK, S GN. Biofeedback flutter device for managing the symptoms of patients with COPD. *Technol Health Care.* 2020;28(5):477-485.
61. Kaźmierczak K, Wareńczak-Pawlicka A, Miedzyblocki M, Lisiński P. Effect of Treadmill Training with Visual Biofeedback on Selected Gait Parameters in Subacute Hemiparetic Stroke Patients. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(24):16925.

62. Khoo IH, Marayong P, Krishnan V, Balagtas M, Rojas O, Leyba K. Real-time biofeedback device for gait rehabilitation of post-stroke patients. *Biomed Eng Lett.* 2017;7(4):287-298.
63. Kuźnar-Kamińska B, Batura-Gabryel H, Brajer B, Kamiński J. Ocena zaburzeń stanu odżywienia chorych na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc. *Pneumonol Alergol Pol* 2008, 50: 320-334.
64. Lacasse Y, Goldstein R, Lasserson TJ, Martin S. Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease. *Cachrane Database Syst Rev* 2006, 18(4): 370-386.
65. Lacasse Y, Martin S, Lasserson TJ, Goldstein RS. Meta-analysis of respiratory rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. A Cochrane systematic review. *Eur Medicophys* 2007, 43(4): 475–485.
66. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Scardella A, Siddique M, Habib RH. Biofeedback treatment for asthma. *Chest.* 2004 Aug;126(2):352-361.
67. Liu H, Guo S, Zheng K, Guo X, Kuramoto-Ahuja T, Sato T, Onoda K, Maruyama H. Reliability and validity of measuring respiration movement using a wearable strain sensor in healthy subjects. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(9):1543-1547.
68. López-Campos JL, Tan W, Soriano JB. Global burden of COPD. *Respirology.* 2016;21(1):14-23.
69. Loring SH, Garcia-Jacques M, Malhotra AJ. Pulmonary characteristics in COPD and mechanisms of increased work of breathing. *Appl Physiol* (1985). 2009;107(1):309-314
70. Lundback B, Lindberg A, Lindstrom M, Ronmark E, Jonsson AC, Jonsson E, et al. Not 15 but 50% of smokers develop COPD?—Report from the Obstructive Lung Disease in Northern Sweden Studies. *Respir Med* 2003; 97(2):115–122
71. Łuniewski J, Bogacz K, Pawełczyk W, Szczegieliński J. Testy funkcjonalne oceniające tolerancję wysiłku chorych w praktyce fizjoterapeuty. *Praktyczna fizjoterapia & rehabilitacja* 2011, 16: 8-11.
72. Magadle R, McConnell AK, Beckerman M, Weiner P. Inspiratory muscle training in pulmonary rehabilitation program in COPD patients. *Respir Med.* 2007;101(7):1500-1505.

73. Malaguti C, Rondelli RR, de Souza LM, Domingues M, Dal Corso S. Reliability of chest wall mobility and its correlation with pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Care*. 2009;54(12):1703-1711.
74. Mantero M, Radovanovic D, Santus P, Blasi F. Management of severe COPD exacerbations: focus on beclomethasone dipropionate/formoterol/ glycopyrronium bromide. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2018;13:2319-2333.
75. Marciniuk DD, Goodridge D, Hernandez P, Rucker G, Balter M, Bailey P, et al. Canadian Thoracic Society COPD Committee Dyspnea Expert Working Group. Managing dyspnea in patients with advanced chronic obstructive pulmonary disease: a Canadian Thoracic Society clinical practice guideline. *Can Respir J* 2011;18:69–78.
76. Mendes LP, Moraes KS, Hoffman M, Vieira DS, Ribeiro-Samora GA, Lage SM, Britto RR, Parreira VF. Effects of Diaphragmatic Breathing With and Without Pursed-Lips Breathing in Subjects With COPD. *Respir Care*. 2019;64(2):136-144.
77. Miravittles M, Anzueto A, Legnani D, Forstmeier L, Fargel M. Patient's perception of exacerbations of COPD—the PERCEIVE study. *Respir Med*. 2007;101:453–460.
78. Miravittles M, Miravittles A. Understanding the impact of symptoms on the burden of COPD. *Respir Res*. 2017;18(1):67.
79. Miravittles M, Worth H, Soler Cataluna JJ, Price D, De Benedetto F, Roche N, et al. Observational study to characterise 24-hour COPD symptoms and their relationship with patient-reported outcomes: results from the ASSESS study. *Respir Res*. 2014;15:122.
80. Miravittles M. Cough and sputum production as risk factors for poor outcomes in patients with COPD. *Respir Med*. 2011;105(8):1118-1128
81. Monteagudo M, Rodríguez-Blanco T, Llagostera M, Valero C, Bayona X, Ferrer M, et al. Factors associated with changes in quality of life of COPD patients: a prospective study in primary care. *Respir Med*. 2013;107:1589–97.
82. Mullerova H, Lu C, Li H, Tabberer M. Prevalence and burden of breathlessness in patients with chronic obstructive pulmonary disease managed in primary care. *PLoS One*. 2014;9(1):e85540.

83. Nici L, Donner C, Wouters E, Zuwallack R, Ambrosino N, Bourbeau J, Carone M, Celli B, Engelen M, Fahy B, Garvey C, Goldstein R, Gosselink R, Lareau S, MacIntyre N, Maltais F, Morgan M, O'Donnell D, Prefault C, Reardon J, Rochester C, Schols A, Singh S, Troosters T; ATS/ERS Pulmonary Rehabilitation Writing Committee. American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med* 2006, 173:1390-1398.
84. Niepsuj G, Kozielski J, Niepsuj K, Ziora D, Polońska A, Cieśliski J, Rauer R, Dworniczak S, Kamiński J, Jastrzebski D, Krzywiecki A, Gabrys J, Oklek K. Przewlekła obturacyjna choroba płuc wśród mieszkańców miasta Zabrze. *Wiad Lek* 2002, 55(1): 354–359.
85. Nishigaki Y, Mizuguchi H, Takeda E, Koike T, Ando T, Kawamura K, Shimbo T, Ishikawa H, Fujimoto M, Saotome I, Odo R, Omoda K, Yamashita S, Yamada T, Omi T, Matsushita Y, Takeda M, Sekiguchi S, Tanaka S, Fujie M, Inokuchi H, Fujitani J. Development of new measurement system of thoracic excursion with biofeedback: reliability and validity. *J Neuroeng Rehabil.* 2013;10:45.
86. Nizankowska-Mogilnicka E, Mejza F, Buist AS, Vollmer WM, Skucha W, Harat R, Pająk A, Gąsowski J, Fray J, Nastalek P, Twardowska M, Janicka J, Szczeklik A. Częstość występowania POChP i rozpowszechnienie palenia tytoniu w Małopolsce- wyniki badania BOLD w Polsce. *Pol Arch Med Wewn* 2007, 117(9): 402-409.
87. O'Donnell DE, Reville SM, Webb KA. Dynamic hyperinflation and exercise intolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164(5):770–777
88. O'Donnell DE, Milne KM, James MD, de Torres JP, Neder JA. Dyspnea in COPD: New Mechanistic Insights and Management Implications. *Adv Ther.* 2020;37(1):41-60.
89. Onate J, Guskiewicz K, Sullivan R: Augmented feedback reduces jump landing forces. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001, 31(9):511
90. Osiadło GM, Dzierżęga JE. Skuteczność kinezyterapii oddechowej w przewlekłej obturacyjnej chorobie płuc. *Wiad Lek* 2007, 60: 418-421.

91. Palacios-Cena D, Ortiz-Gutierrez RM, Buesa-Estellez A, Galán-Del-Río F, Cachon Perez JM, Martínez-Piedrola R, Velarde-Garcia JF, Cano-DE-LA-Cuerda R. Multiple sclerosis patients' experiences in relation to the impact of the kinect virtual home-exercise programme: a qualitative study. *Eur J Phys Rehabil Med* 2016, 52(3): 347-355.
92. Parshall MB, Schwartzstein RM, Adams L, et al. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2012;185(4):435–452
93. Paulin E, Yamaguti WP, Chammas MC, Shibao S, Stelmach R, Cukier A, et al. Influence of diaphragmatic mobility on exercise tolerance and dyspnea in patients with COPD. *Respir Med*. 2007;101(10):2113-2118
94. Pisa AM, Chernyshov G, Nassou AF, Kunze K. (2017, September). Towards interactive mindfulness training using breathing based feedback. In Proceedings of the 2017 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing and proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers. New York, NY: ACM, 2017:688-692.
95. Porciuncula F, Roto AV, Kumar D, Davis I, Roy S, Walsh CJ, et al. Wearable movement sensors for rehabilitation: a focused review of technological and clinical advances. *PMR*. (2018) 10(9Suppl.2):S220–232.
96. Price D, Small M, Milligan G, Higgins V, Garcia Gil E, Estruch J. Impact of night-time symptoms in COPD: a real-world study in five European countries. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2013;8:595–603
97. Proffitt R, Lange B. Feasibility of a Customized, In-Home, Game-Based Stroke Exercise Program Using the Microsoft Kinect® Sensor. *Int J Telerehabil* 2015, 7(2): 23-34.
98. Puhan MA, Gimeno-Santos E, Cates CJ, Troosters T. Pulmonary rehabilitation following exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;12(12):CD005305.
99. Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, Fukuchi Y, Jenkins C, Rodriguez-Roisin R, van Weel C, Zielinski J; Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global strategy for the diagnosis,

- management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med.* 2007;176(6):532-555.
100. Rabe KF, Hurd S, Anzueto A. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD Executive Summary. *Am J Respir Crit Care Med* 2007, 176: 532–555.
  101. Roberts S, Schreuder F, Watson T, Stern M Do COPD patients taught pursed lips breathing (PLB) for dyspnoea management continue to use the technique long-term? A mixed methodological study. *Physiotherapy* 2017;103(4):465–470.
  102. Rocha FR, Brüggemann AK, Francisco DS, Medeiros CS, Rosal D, Paulin E. Diaphragmatic mobility: relationship with lung function, respiratory muscle strength, dyspnea, and physical activity in daily life in patients with COPD. *J Bras Pneumol.* 2017;43(1):32-37
  103. Rochester CL, Vogiatzis I, Holland AE, Lareau SC, Marciniuk DD, Puhan MA, Spruit MA, Masefield S, Casaburi R, Clini EM et al.;ATS/ERS Task Force on Policy in Pulmonary Rehabilitation. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society policy statement: enhancing implementation, use, and delivery of pulmonary rehabilitation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2015;192:1373–1386.
  104. Rochester CL. Exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *J Rehabil Res Dev* 2003, 40(5 Suppl 2):59-80.
  105. Rutkowski S, Rutkowska A, Jastrzębski D, Rachenik H, Pawelczyk W, Szczegliński J. Effect of Virtual Reality-Based Rehabilitation on Physical Fitness in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Hum Kinet.* 2019
  106. Sandelowsky H, Weinreich UM, Aarli BB, Sundh J, Høines K, Stratelis G, Løkke A, Janson C, Jensen C, Larsson K. COPD - do the right thing. *BMC Fam Pract.* 2021 Dec 11;22(1):244.
  107. Santana PV, Albuquerque ALP. Respiratory muscles in COPD: be aware of the diaphragm. *J Bras Pneumol.* 2018 Jan-Feb;44(1):1-2.
  108. Scott S, Fuld JP, Carter R, McEntegart M, MacFarlane NG. Diaphragm ultrasonography as an alternative to whole-body plethysmography in pulmonary function testing. *J Ultrasound Med.* 2006;25(2):225-232

109. Sin DD, Anthonisen NR, Soriano JB, Agusti AG. Mortality in COPD: Role of comorbidities. *Eur Respir J* 2006;28(6):1245–1257
110. Sinderby C, Spahija J, Beck J, Kaminski D, Yan S, Comtois N, Sliwinski P. Diaphragm activation during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;163(7):1637-1641.
111. Skvortsov DV, Kaurkin SN, Ivanova GE. A Study of Biofeedback Gait Training in Cerebral Stroke Patients in the Early Recovery Phase with Stance Phase as Target Parameter. *Sensors (Basel)*. 2021;21(21):7217.
112. Smith J, Woodcock A. Cough and its importance in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2006;1(3):305-314.
113. Smith MC, Wrobel JP. Epidemiology and clinical impact of major comorbidities in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2014;9:871-888.
114. Soyka F, Leyrer M, Smallwood J, Ferguson C, Riecke BE, Mohler BJ. 20. Enhancing stress management techniques using virtual reality. In *Proceedings of the ACM symposium on applied perception*. New York, NY: ACM 2016:85-88
115. Spencer J, Wolf SL, Kesar TM. Biofeedback for Post-stroke Gait Retraining: A Review of Current Evidence and Future Research Directions in the Context of Emerging Technologies. *Front Neurol*. 2021;12:637199.
116. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, ZuWallack R, Nici L, Rochester C, Hill K, Holland AE, Lareau SC, Man WD, Pitta F, Sewell L, Raskin J, Bourbeau J, Crouch R, Franssen FM, Casaburi R, Vercoulen JH, Vogiatzis I, Gosselink R, Clini EM, Effing TW, Maltais F, van der Palen J, Troosters T, Janssen DJ, Collins E, Garcia-Aymerich J An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188(8):13-64.
117. Szczegielniak J, Bogacz K, Majorczyk E, Szczegielniak A, Łuniewski J. Post-COVID-19 rehabilitation - a Polish pilot program. *Med Pr*. 2021;72(5):611-616.
118. Szczegielniak J, Bogacz K, Łuniewski J. Kwalifikacja do rehabilitacji chorych na POChP, *Praktyczna Fizjoterapia i Rehabilitacja* 2010, 12: 9-11
119. Szczegielniak J, Bogacz K, Łuniewski J. Program rehabilitacji chorych na POChP cz.I, *Praktyczna Fizjoterapia i Rehabilitacja* 2010, 12: 12-19.



120. Szczegielniak J, Latawiec KJ, Łuniewski J, Stanisławski R, Bogacz K, Krajczyk M, Rydel M. A study on nonlinear estimation of submaximal effort tolerance based on the generalized MET concept and the 6MWT in pulmonary rehabilitation. *PLoS One*. 2018;13(2)
121. Tabata K, Kozu R. The Study on Equation for Predicting Pulmonary Function Using Chesst Expansion Scores in Middle and Old Aged Persons, *Japanese physicaltherapy* 1996, 23(2), 66-71.
122. Taghizadeh N, Eslaminejad A, Raoufy MR. Protective effect of heart rate variability biofeedback on stress-induced lung function impairment in asthma. *Respir Physiol Neurobiol*. 2019,262:49-56.
123. Tate JJ, Milner CE. Real-time kinematic, temporospatial, and kinetic biofeedback during gait retraining in patients: a systematic review. *Phys Ther* 2010, 90(8):1123–1134
124. The Japan Society for Respiratory Care and Rehabilitation, The Japanese Respiratory Society, The Japanese Association of Rehabilitation Medicine, and The Japanese Physical Therapy Association: Current condition of respiratory rehabilitation: Guidelines for pulmonary rehabilitation: manual for exercise and training. Tokyo, JAPAN; 2003:17–28.
125. Thomson M., Thomson L.: Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej. Wyd. Biomed Neurotechnologie, Wrocław 2012: 18-56.
126. Troosters T, Sciurba F, Battaglia S, Langer D, Valluri SR, Martino L, Benzo R, Andre D, Weisman I, Decramer M. Physical inactivity in patients with COPD, a controlled multi-center pilot-study. *Respir Med* 2010;104(7):1005-1011
127. Van Gestel AJ, Kohler M, Steier J, Teschler S, Russi EW, Teschler H. The effects of controlled breathing during pulmonary rehabilitation in patients with COPD. *Respiration*. 2012;83(2):115-124.
128. Vernadakis N, Derri V, Tsitskari E, Antoniou P. The effect of Xbox Kinect intervention on balance ability for previously injured young competitive male athletes: A preliminary study. *Phys Ther Sport* 2014, 15: 148-155.

129. Vestbo J, Hurd SS, Agustí AG, Jones PW, Vogelmeier C, Anzueto A, Barnes PJ, Fabbri LM, Martinez FJ, Nishimura M, Stockley RA, Sin DD, Rodriguez-Roisin R. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med* 2013 187(4): 347-365.
130. Vitacca M, Clini E, Bianchi L, Ambrosino N. Acute effects of deep diaphragmatic breathing in COPD patients with chronic respiratory insufficiency. *Eur Respir J* 1998;11(2):408-415
131. Vogelmeier C, Criner G, Martinez F, Anzueto A, Barnes P, Bourbeau J, Celli B, Chen R, Decramer M, Fabbri L, Frith P, Halpin D, López Varela M, Nishimura M, Roche N, Rodriguez-Roisin R, Sin D, Singh D, Stockley R, Vestbo J, Wedzicha JA, Agustí A. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease 2017 Report. GOLD Executive Summary. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 Mar 1;195(5):557-582.
132. Vorrink S, Kort H, Troosters T, Lammers JM. Level of daily physical activity in individuals with COPD compared with healthy controls. *Respir Res* 2011;12(33):12-33
133. Watz H, Waschki B, Meyer T, Magnussen H. Physical activity in patients with COPD. *Eur Respir J* 2009;33(2):262-72.
134. Wu DW, Chang LH, Yang PC, Kuo TY, Tsai DL, Chen HC, Yuan HL, Chen PS, Chen SC, Lin IM. Anxiety Is a Mediator between Heart Rate Variability and Quality of Life in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Pers Med*. 2022;12(6):960.
135. Yamaguti WP, Claudino RC, Neto AP, Chammas MC, Gomes AC, Salge JM, et al. Diaphragmatic breathing training program improves abdominal motion during natural breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *Arch Physic Med Rehab*. 2012;93(4):571-577.
136. Yamaguti WP, Paulin E, Salge JM, Chammas MC, Cukier A, Carvalho CR. Diaphragmatic dysfunction and mortality in patients with COPD. *J Bras Pneumol*. 2009;35(12):1174-1181.

137. Yun R, Bai Y, Lu Y, Wu X, Lee SD. How Breathing Exercises Influence on Respiratory Muscles and Quality of Life among Patients with COPD? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Can Respir J*. 2021;2021:1904231.
138. Zhang LJ, Zhu XP. Ultrasonographic assessment of the diaphragm mobility in patients with chronic obstructive pulmonary disease: relationships with pulmonary function and BODE index. *J Ningxia Med Univ*. 2017;39(05):534–536+483.
139. Zheng ZG, Chen RC, Zhang XY, et al. Comparison of different methods in assessing diaphragmatic muscle function and their application in patients with COPD. *Chin J Pract Int Med*. 2003;9:530–532.

## STRESZCZENIE

### WPŁYW BIOFEEDBACKU ODDECHOWEGO NA EFEKTY FIZJOTERAPII CHORYCH NA PRZEWLEKŁĄ OBTURACYJNĄ CHOROBE PŁUC

Słowa kluczowe: przewlekła obturacyjna choroba płuc, biofeedback, rehabilitacja pulmonologiczna

W pracy postanowiono ocenić możliwość zastosowania aparatu wykorzystującego biofeedback do pomiaru amplitudy ruchu oddechowego oraz ocenić wpływ programu fizjoterapii z zastosowaniem ćwiczeń wykorzystujących biofeedback na amplitudę ruchu oddechowego oraz tolerancję wysiłku fizycznego, czynność wentylacyjną płuc i duszność u chorych na POChP.

Pytania badawcze

1. Czy pomiary aparatem wykorzystującym biofeedback są powtarzalne i wiarygodne?
2. Czy zastosowanie w programie fizjoterapii treningu oddechowego opartego na biofeedbacku wpłynie na zmianę amplitudy piersiowego i brzuszno-oddechowego u badanych chorych na POChP?
3. Czy zastosowanie w programie fizjoterapii treningu oddechowego opartego na biofeedbacku wpłynie u badanych chorych na tolerancję wysiłku fizycznego, wybrane wskaźniki określające czynność wentylacyjną płuc oraz poziom duszności?
4. Czy przyjęta metodyka pomiarów i treningu toru oddechowego może być wykorzystana w fizjoterapii pulmonologicznej?

Aby ocenić przydatność urządzenia BioGraph Infinity do pomiaru amplitudy ruchu oddechowego wykonano badanie walidacyjne oraz test powtarzalności. Do wymienionych prób wykorzystano to samo urządzenie, którym planowano przeprowadzić badanie główne, tj. aparat BioGraph Infinity. W badaniu walidacyjnym i teście powtarzalności uczestniczyło 20 zdrowych osób, studentów fizjoterapii Politechniki Opolskiej. Badanie było wykonywane przez dwóch fizjoterapeutów. Porównano wyniki uzyskiwane podczas

pomiaru badanych parametrów aparatem BioGraph z wynikami uzyskiwanymi podczas pomiaru taśmą centymetrową. Narzędziem oceny zależności był współczynnik korelacji rang Spearmana. Narzędziem oceny powtarzalności pomiarów był współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC. Za pomocą współczynnika ICC zmierzono stopień zgodności wyników. Do weryfikacji istotności statystycznej współczynnika korelacji wewnątrzgrupowej ICC wykorzystano statystykę Fopartą o rozkład Fishera-Snedecora. W badaniu walidacyjnym oraz teście powtarzalności stwierdzono, że wyniki uzyskiwane podczas pomiaru taśmą centymetrową i aparatem BioGraph są zbieżne. Nie stwierdzono również różnic pomiędzy pomiarami uzyskiwanymi przez dwóch różnych fizjoterapeutów.

Do badania klinicznego zakwalifikowano 60 chorych na POChP leczonych w Dziale Usprawniania Leczniczego Szpitala Specjalistycznego MSWiA w Głuchołazach. Badania prowadzono w terminie od grudnia 2020 do sierpnia 2021 roku. Chorych przydzielono do jednej z dwóch grup na podstawie randomizacji. Do grupy kontrolnej włączono 30 chorych (16 kobiet i 14 mężczyzn) zakwalifikowanych do programu rehabilitacji pulmonologicznej. Średnia wieku badanych wyniosła 64,3 lat ( $\pm 4,2$ ). Grupę badaną stanowiło 30 chorych (17 kobiet, 13 mężczyzn) zakwalifikowanych do rehabilitacji. Średnia wieku badanych wyniosła 62,9 lat ( $\pm 3,5$ ).

U wszystkich badanych przed i po zakończeniu programu rehabilitacji wykonano badanie czynności płuc, ocenę duszności, tolerancji wysiłku fizycznego oraz pomiar amplitudy ruchu oddechowego. Do oceny czynności wentylacyjnej wykorzystano wskaźniki FVC, FEV<sub>1</sub> oraz FEV<sub>1</sub>%VC. Duszność oceniono za pomocą 10-stopniowej skali Borga. Tolerancję wysiłku fizycznego oceniono za pomocą testu 6-minutowego marszu. Amplitudę ruchu oddechowego mierzono za pomocą urządzenia BioGraph Infiniti.

Wyniki badań zostały poddane analizie w programie STATISTICA v.13 firmy StatSoft Polska (licencja Politechnika Opolska) oraz w programie JASP v. 0.16.1 (University of Amsterdam, Holandia). Narzędziem oceny zależności był współczynnik korelacji rang Spearmana. Do weryfikacji statystycznej istotności różnic między wartościami zmiennych przed i po pomiarze postanowiono zastosować testy nieparametryczne: dla prób zależnych – test Wilcoxon, dla prób niezależnych – test U Manna – Whitney. Dokonano porównania wartości median wybranych parametrów z

grup kontrolnych i badanej za pomocą powyższych testów. Podczas weryfikacji hipotez przyjęto poziom istotności  $p < 0,05$ .

W grupie badanej stwierdzono istotne statystycznie zwiększenie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego. W grupie badanej wzrost tolerancji wysiłku fizycznego był istotnie wyższy niż w grupie kontrolnej. Wykazano również istotne zmniejszenie duszności oraz wzrost niektórych wskaźników spirometrycznych w grupie badanej, po rehabilitacji.

Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wykazano, że pomiary aparatem wykorzystującym biofeedback są powtarzalne i wiarygodne.
2. Stwierdzono zwiększenie amplitudy ruchu oddechowego brzuszego po zastosowaniu treningu oddechowego opartego na biofeedbacku.
3. Wykazano istotnie wyższą poprawę tolerancji wysiłku fizycznego ocenianą testem 6MWT w grupie, w której do treningu użyto biofeedbacku.
4. Stwierdzono istotny wpływ treningu biofeedback na wybrane wskaźniki określające czynność wentylacyjną płuc oraz duszność.
5. Wykazano, że trening oddechowy oparty na biofeedbacku można włączyć do programu fizjoterapii pulmonologicznej.

## ABSTRACT

### THE INFLUENCE OF RESPIRATORY BIOFEEDBACK ON EFFECTS OF REHABILITATION IN CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE

Key words: chronic obstructive pulmonary disease, biofeedback, pulmonary rehabilitation

The aim of this paper was to validate biofeedback device and to evaluate the effect of pulmonary rehabilitation programme including biofeedback exercises on amplitude of respiratory movement, physical effort tolerance, lung function and dyspnea in COPD.

Research questions:

1. Are biofeedback device's measurements accurate and reliable?
2. Does the pulmonary rehabilitation programme including biofeedback exercises influence amplitude of chest wall and abdominal mobility in patients with COPD?
3. Does the pulmonary rehabilitation programme including biofeedback exercises influence outcomes of the 6-Minute Walk Test, lung function and the level of dyspnea?
4. Is the methodology of measurement and training useful in pulmonary rehabilitation?

Validation and repeat assessment were carried out in order that examine BioGraph Infiniti device in measurement of breathing movement. BioGraph Infiniti device was also used in main examination of this study. The validation and repeat assessment included 20 healthy students of physiotherapy from Opole University of Technology. This examinations were conducted by two physiotherapists. The outcomes of tape measurement were compared to outcomes from Biograph device. Spearman's rank correlation was used to evaluate relationships. Intraclass correlation factor was used to evaluate replicability of outcomes. To evaluate significance ICC factor the Fisher-Snedecor statistic was used. The validation and repeat assessment showed that cloth tape and BioGraph device measurements are coincident. There were no differences between two physiotherapists's measurements.

The main study included 60 patients with chronic obstructive pulmonary disease in the Hospital of Ministry of the Interior and Administration (MSWiA) in Głucholązy. This study was conducted between December 2020 and August 2021. The patients were divided into two groups. Control group consisted of 30 people (16 women, 14 men) participating in pulmonary rehabilitation programme. The average age was 64,3 years ( $\pm 4,2$ ). Second group (biofeedback) consisted of 30 people (17 women, 13 men) participating in pulmonary rehabilitation programme and additional biofeedback treatment. The average age was 62,9 years ( $\pm 3,5$ ).

In all patients before and after rehabilitation, pulmonary ventilation, dyspnea, physical fitness and breathing mobility were assessed. FVC, FEV<sub>1</sub> and FEV<sub>1</sub>%VC were used in evaluation of lung function. Dyspnea was evaluated in all patients with a 10-point Borg scale. Physical fitness was assessed in all patients using 6-minute walk test. Amplitude of breathing movement was assessed by Biograph Infiniti device.

All outcomes were analysed by STATISTICA v.13 StatSoft Poland and JASP v. 0.16.1 (University of Amsterdam, the Netherlands). Spearman's rank correlation coefficient was used to evaluate the level of relationship. Differences before and after rehabilitation were assessed by nonparametric tests: in dependent variables Wilcoxon test was used, in independent – U Mann – Whitney. The statistical tests used a probability value of  $p < 0.05$  considered statistically significant value.

The amplitude of abdominal movement was significantly increased in biofeedback group. Physical fitness improvement was higher in biofeedback group. Patients in biofeedback group were shown decrease of dyspnea level and increase in some of lung function parameters after rehabilitation.

#### Conclusions:

1. The biofeedback device's measurements are accurate and reliable.
2. There was a significant improvement of abdominal breathing movement in biofeedback group. The amplitude of chest breathing movement didn't change.
3. Physical effort tolerance, lung function and dyspnea changed in biofeedback group.
4. The impact of biofeedback exercises on lung function was demonstrated.
5. Biofeedback training can be useful in pulmonary training program.



## SPIS RYCIN

RYCINA 1. KODER APARATU BIOGRAPH INFINITI ZBIERAJĄCY DANE Z CZUJNIKÓW .....	18
RYCINA 2. SCHEMAT OCENY PRZYDATNOŚCI APARATU BIOGRAPH INFINITI DO BADANIA KLINICZNEGO .....	19
RYCINA 3. SCHEMAT BADANIA WALIDACYJNEGO .....	20
RYCINA 4. SCHEMAT BADANIA POWTARZALNOŚCI .....	22
RYCINA 5. SPOSÓB PROWADZENIA BADANIA RUCHOMOŚCI KLATKI PIERSIOWEJ ORAZ BRZUCHA ZA POMOCĄ APARATU BIOGRAOH INFINITI .....	26
RYCINA 6. UKŁAD TORU TESTU 6-MINUTOWEGO MARSZU .....	27
RYCINA 7. WYKRES OBRAZUJĄCY PRZEWIDYWANE WARTOŚCI MET WG MODELU WIELOMIANOWEGO (SZCZEGIELNIAK I WSP., 2018).....	28
RYCINA 8. STANOWISKO BADAŃ SPIROMETRYCZNYCH (MATERIAŁ WŁASNY) .....	30
RYCINA 9. PORÓWNANIE AMPLITUDY RUCHU ODDECHOWEGO BRZUSZNEGO PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	42
RYCINA 10. PORÓWNANIE AMPLITUDY RUCHU ODDECHOWEGO BRZUSZNEGO PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ.....	43
RYCINA 11. PORÓWNANIE AMPLITUDY RUCHU ODDECHOWEGO PIERSIOWEGO PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	44
RYCINA 12. PORÓWNANIE AMPLITUDY RUCHU ODDECHOWEGO PIERSIOWEGO PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ.....	44
RYCINA 13. PORÓWNANIE WARTOŚCI DYSTANSU OSIĄGNIĘTEGO W TEŚCIE 6MWT PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	45
RYCINA 14. PORÓWNANIE WARTOŚCI DYSTANSU OSIĄGNIĘTEGO W TEŚCIE 6MWT PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	46
RYCINA 15. PORÓWNANIE WARTOŚCI MET W TEŚCIE 6MWT PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	46
RYCINA 16. PORÓWNANIE WARTOŚCI MET W TEŚCIE 6MWT PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ	47
RYCINA 17. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FVC PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ ...	48
RYCINA 18. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FVC PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ .....	48
RYCINA 19. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FVC% PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ	49
RYCINA 20. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FVC% PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ. ....	50
RYCINA 21. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ .	50
RYCINA 22. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ .....	51
RYCINA 23. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> % PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ .....	52
RYCINA 24. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> % PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ ....	52
RYCINA 25. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> % VC PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	53
RYCINA 26. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA FEV <sub>1</sub> % VC PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ .....	54
RYCINA 27. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA OKREŚLAJĄCEGO DUSZNOŚĆ PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE KONTROLNEJ.....	54
RYCINA 28. PORÓWNANIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA OKREŚLAJĄCEGO DUSZNOŚĆ PRZED I PO REHABILITACJI W GRUPIE BADANEJ.....	55

## SPIS TABEL

TABELA 1. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH GRUP .....	23
TABELA 2. SKALA SUBIEKTYWNEJ 10-CIO STOPNIOWEJ OCENY DUSZNOŚCI WG SKALI BORG .....	29
TABELA 3. SPOSÓB KWALIFIKACJI CHORYCH NA POChP DO ODPOWIEDNIEGO MODELU REHABILITACJI (ŁUNIEWSKI, 2011) .....	31
TABELA 4. MODELE FIZJOTERAPII CHORYCH NA POChP (SZCZEGIELNIAK I WSP., 2010; SZCZEGIELNIAK I WSP., 2010).....	32
TABELA 5. WSPÓŁCZYNNIKI KORELACJI DLA POMIARÓW TORU BRZUSZNEGO W [CM] DOKONANYCH DWIEMA METODAMI .....	37
TABELA 6. WSPÓŁCZYNNIKI KORELACJI DLA POMIARÓW TORU PIERSIOWEGO W [CM] DOKONANYCH DWIEMA METODAMI .....	37
TABELA 7. WSPÓŁCZYNNIKI KORELACJI DLA POMIARÓW TORU BRZUSZNEGO W [JW] DOKONANYCH DWIEMA METODAMI .....	38
TABELA 8. WSPÓŁCZYNNIKI KORELACJI DLA POMIARÓW TORU BRZUSZNEGO W [CM] DOKONANYCH DWIEMA METODAMI .....	38
TABELA 9. WSPÓŁCZYNNIKI KORELACJI WEWNĄTRZGRUPOWEJ DLA POMIARÓW TORU ODDECHOWEGO BRZUSZNEGO I PIERSIOWEGO W [J.W.] DOKONANYCH W TRZECH MOMENTACH CZASU PRZEZ DWÓCH TERAPEUTÓW .....	39
TABELA 10. PORÓWNANIE WARTOŚCI POCZĄTKOWYCH ANALIZOWANYCH WSKAŹNIKÓW PRZED ROZPOCZĘCIEM REHABILITACJI.....	40
TABELA 11. WYNIKI ZMIENNYCH: AMPLITUDA RUCHU ODDECHOWEGO BRZUSZNEGO, AMPLITUDA RUCHU ODDECHOWEGO PIERSIOWEGO, DYSTANSU, MET I FEV <sub>1</sub> W ODNIESIENIU DO OKRESU PRZED I PO REHABILITACJI, DLA GRUPY KONTROLNEJ ORAZ BADANEJ.....	41
TABELA 12. RÓŻNICE MIĘDZYGRUPOWE WARTOŚCI ANALIZOWANYCH WSKAŹNIKÓW PO UKOŃCZONYM PROGRAMIE REHABILITACJI.....	55