

Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

ROZPRAWA DOKTORSKA

Maria Jarosz

**Wpływ zabiegu operacyjnego metodą Nussa
na stan parametrów postawy ciała i stabilności posturalnej
u wybranych pacjentów z klatką piersiową lejkowatą**

Promotor: dr hab. Aleksander Barinow-Wojewódzki

Promotor pomocniczy: dr hab. Marzena Wiernicka

Poznań 2024 r.

Spis treści

Wykaz skrótów	5
Wstęp	6
1. Wprowadzenie	9
1.1. Postawa ciała	9
1.2. Wady postawy ciała.....	10
1.2.1. Klatka piersiowa lejkowata.....	11
1.3. Kontrola postawy ciała	26
1.3.1. Stabilność posturalna	26
1.3.2. Metody oceny stabilności posturalnej	34
2. Cel badań i hipotezy badawcze	37
3. Materiał i metody	40
3.1. Uczestnicy badań.....	40
3.2. Pomiarы wstępne – charakterystyki somatyczne	43
3.3. Zabieg operacyjny metodą Nussa	43
3.4. Pomiarы stabilności posturalnej	43
3.4.1. Przebieg procedury pomiarowej	44
3.4.2. Analizowane parametry	45
3.5. Badanie funkcjonalne mięśni	46
3.6. Pomiarы symetrii tułowia	54
3.7. Obliczenia statystyczne	59
4. Wyniki	61
4.1. Wyniki pomiarów wstępnych – charakterystyki somatyczne	61
4.2. Wyniki pomiarów stabilności posturalnej	61
4.3. Wyniki badania funkcjonalnego mięśni.....	83
4.4. Wyniki pomiarów symetrii tułowia	90
5. Dyskusja	92
6. Wnioski	105
Piśmiennictwo	106
Streszczenie	128
Summary	131
Spis tabel	133
Spis rycin	134
Aneks	138

*Tacie
i pamięci mojej Mamy*

Bardzo dziękuję wszystkim, którzy przyczynili się do powstania tej pracy.

*Przede wszystkim dziękuję Panu prof. Aleksandrowi Barinowowi-Wojewódzkiemu
oraz Pani prof. Marzenie Wiernickiej, promotorom pracy,
za przyjęcie mnie pod swoje naukowe skrzydła.*

*Bardzo dziękuję Panu prof. Rafałowi Stemplewskiemu
za pomoc w odkrywaniu nieoczywistych i nienachalnych uroków statystyki.*

Mojemu mężowi dziękuję za nieustające wsparcie, a córce za wyrozumiałość.

Wykaz skrótów

AIS – *adolescent idiopathic scoliosis* (ang.), młodzieńcza skolioza idiopatyczna

AP – *anterior-posterior* (ang.), kierunek przednio-tylny

BMI – *body mass index* (ang.), wskaźnik masy ciała

COG – *centre of gravity* (ang.), środek ciężkości ciała

COP – *centre of pressure* (ang.), środek nacisku stóp

FAI – *frontal asymmetry index* (ang.), współczynnik asymetrii w płaszczyźnie czołowej

HDI – *high difference index* (ang.), współczynnik różnicy wysokości

MIRPE – *minimally-invasive repair technique of pectus excavatum* (ang.), małoinwazyjna metoda korekcji klatki piersiowej lejkowatej, inaczej metoda Nussa

ML – *medio-lateral* (ang.), kierunek przyśrodkowo-boczny

PCI – *pectus correction index* (ang.), wskaźnik nasilenia wady klatki piersiowej

PE – *pectus excavatum* (łac.), klatka piersiowa lejkowata

POTSI – *posterior trunk symmetry index* (ang.), tylny współczynnik symetrii tułowia

SA – *sway area* (ang.), pole powierzchni określane przez środek nacisku stóp

Vavg – średnia prędkość

Wstęp

Prawidłowa postawa ciała jest koniecznym warunkiem zdrowia człowieka. Gdy ten warunek nie jest spełniony w związku z występowaniem deformacji lub wad postawy pojawia się potrzeba podjęcia działań mających na celu zminimalizowanie negatywnych skutków zaburzeń budowy ciała. W zależności od stopnia nasilenia wady podejmowane jest postępowanie lecznicze odpowiednio dobrane z szerokiego spektrum działań, od ćwiczeń korekcyjnych, przez inne zabiegi fizjoterapeutyczne, po interwencje chirurgiczne. Wady postawy dotyczyć mogą różnych części ciała człowieka i dla każdego z zaburzeń konieczne jest opracowanie optymalnego programu terapeutycznego dostosowanego do konkretnego pacjenta. Zakres tych działań i ich szczegółowy przebieg powinien być zgodny z najnowszą wiedzą, która nieustannie się poszerza wywołując zmiany w podejściu do procesu terapii. Pojawianie się uzasadnionych odkryciai naukowymi nowych form terapii daje możliwość osiągnięcia lepszych efektów leczenia, z uwzględnieniem między innymi precyzyjniejszej i bardziej wiarygodnej diagnostyki, mniejszej inwazyjności zabiegów, skuteczniejszej i szybszej rekonwalescencji, ale także w wyniku opracowywania coraz bardziej efektywnych metod zapobiegania różnego rodzaju schorzeniom. Proces wprowadzania nowych terapii obwarowany jest licznymi warunkami wynikającymi z podstawowej zasady etycznej wspólnej dla wszystkich rodzajów działalności terapeutycznej – *primum non nocere*. Rozpoznanie wszelkich możliwych kwestii mogących wpływać na przebieg terapii i tym samym stan zdrowia człowieka jest więc koniecznością. Zadanie to realizowane jest z wykorzystaniem metody naukowej, bo jedynie takie podejście zapewnia możliwość obiektywnej ewaluacji wdrażanych procedur. Szczegółowe rozpoznanie mechanizmów i związków przyczynowo-skutkowych w zakresie określonego problemu daje możliwości optymalizowania działań terapeutycznych.

Badania dotyczące szeroko pojętych wad postawy i zaburzeń budowy ciała mają długą historię i prowadzone są na bardzo wielu polach. Mimo to, wiele problemów nadal pozostaje nierozwiązanych lub niedostatecznie wyjaśnionych. Naturalnie, te wady, które występują u ludzi z większą częstością skupiają na sobie większą uwagę badaczy, a zainteresowanie rzadziej występującymi deformacjami jest mniejsze. Porównanie pod względem liczby doniesień naukowych w bazie literatury PubMed na temat powszechnej jednostki

chorobowej, jaką jest skolioza i rzadziej występującej deformacji – klatki piersiowej lejkwatej, wykazuje niemal dziesięciokrotnie większą liczbę prac poświęconych skoliozie.

W tej pracy podejmowana jest próba rozpoznania problemu, który nie był jeszcze badany, a dotyczy on osób dotkniętych wadą budowy, jaką jest wyżej wymieniona klatka piersiowa lejkwata (łac. *pectus excavatum*). Jest to najczęściej spotykana deformacja ściany klatki piersiowej. Może ona wiązać się z objawami ze strony układu oddechowego i sercowo-naczyniowego, dlatego w większości przypadków z wyraźną wadą sugeruje się chirurgiczną korekcję klatki piersiowej. Małoinwazyjny zabieg polegający na wprowadzeniu metalowych płytek pod mostek (zabieg Nussa) zwykle przynosi pacjentom znaczną poprawę w zakresie funkcjonowania klatki piersiowej, ale również w odniesieniu do jakości życia. Opis metod leczenia klatki piersiowej lejkwatej zamieszczono w rozdziale 1. Został on poprzedzony przeglądem piśmiennictwa dotyczącego charakterystyki tej wady oraz jej etiologii i epidemiologii. Podjęto próbę możliwie dokładnego opisanie powyższych kwestii, by umożliwić rzeczową interpretację uzyskanych wyników.

Celem pracy było określenie wpływu zabiegu korekcji przedniej ściany klatki piersiowej metodą Nussa na stabilność posturalną osób z wadą klatki piersiowej lejkwatej w pierwszej fazie pooperacyjnej. Celem dodatkowym zaś, ustalenie czy istnieje różnica w stabilności posturalnej między osobami z wadą klatki piersiowej a osobami zdrowymi bez zaburzeń budowy ciała z grupy kontrolnej. Cele badań, wraz z pytaniami badawczymi i postawionymi hipotezami, szczegółowo przedstawiono w rozdziale 2. tego opracowania.

Przeprowadzone badania miały charakter eksperymentalny, z interwencją w postaci zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkwatej. Pomiary dokonywane były dwukrotnie, przed i po zabiegu. W rozdziale „Materiał i metody” (rozd. 3) przedstawiono w sposób szczegółowy zaplanowaną i przeprowadzoną procedurę badawczą, z uwzględnieniem charakterystyki uczestników badań, opisu wszystkich wykonanych pomiarów oraz zastosowanych obliczeń statystycznych. Zamieszczono tam także informacje na temat szczegółowych kryteriów włączenia do badań, jak również podano uzasadnienie dokonanego wyboru grupy eksperymentalnej.

Wyniki badań zebrano i opisano w rozdziale 4., gdzie prezentowane są one nie tylko w postaci opisowej, ale również z wykorzystaniem rycin i tabel. Dają one możliwość

porównania wyników między terminami badań, jak też przedstawiają porównania międzygrupowe.

Z uwagi na brak wcześniejszych badań w tym zakresie dyskusja (rozdział 5) nie polega na odniesieniu własnych wyników do ustaleń innych badaczy, za to w wielu swych częściach ma charakter subiektywnych spekulacji. Rozdział ten w pierwszej części dotyczy celu głównego, tj. wpływu zabiegu na stabilność posturalną (i dodatkowe zmienne wyjaśniające – stan funkcjonalny mięśni i symetrię tułowia). Druga część poświęcona jest porównaniom w tym zakresie pacjentów z wadą klatki piersiowej lejkowatej z osobami zdrowymi. Podział na dwie części wymusił konieczność powracania do zagadnień poruszanych wcześniej, co zaznaczano w tekście rozdziału zamieszczając informację o kontynuowaniu dyskusji w odniesieniu do określonego problemu w dalszej części opracowania. Dyskusję uzupełniono o wskazanie ograniczeń przeprowadzonych badań, które powinny być brane pod uwagę podczas interpretacji otrzymanych wyników.

Merytoryczną część pracy kończy przedstawienie wniosków wyciągniętych z przeprowadzonych badań. Ponadto praca zawiera spis piśmiennictwa, z którego korzystano podczas planowania badań i przygotowywania niniejszej dysertacji, spis tabel i rycin, a także aneks zawierający zgodę komisji bioetycznej na prowadzenie badań oraz treść informacji dla badanych i wzór formularza zgody na udział w badaniach.

1. Wprowadzenie

1.1. Postawa ciała

Zdolność człowieka do osiągnięcia i utrzymania równowagi w pozycji pionowej jest kluczową i złożoną umiejętnością zdobywaną i podtrzymywaną przez całe życie (Sibley i in., 2017). Pionowa pozycja ma swoje odzwierciedlenie w sylwetce, która przedstawia indywidualne cechy człowieka mające wpływ na jego postawę ciała (Kasperczyk, 2004). Termin „postawa” odnosi się do układu ciała w przestrzeni oraz zdolności do utrzymania równowagi tego układu w warunkach statycznych i dynamicznych. Postawa jest więc automatycznym i nieświadomym ustawieniem ciała, na które działają siły grawitacji (Carini i in., 2017). W literaturze przedmiotu funkcjonuje wiele definicji postawy ciała, z których większość, co do meritum, nie różni się zasadniczo (Dega, 1983; Kasperczyk, 2004; Nowotny & Cieśla, 1990; Wolański, 1959). Na podstawie tych definicji można wskazać ogólne kryteria określające prawidłową postawę. Według nich powinna ona zapewnić zrównoważoną i stabilną pozycję ciała, zapewnić dogodną pozycję wyjściową do różnych ruchów, zagwarantować ekonomiczny wydatek energetyczny, nie zaburzać funkcjonowania narządów wewnętrznych, zapewnić wydolność statyczno-ekonomiczną, a także zapewnić spełnienie wymogów psychicznych i estetycznych (Biernat & Bąk-Sosnowska, 2018; Wilczyński, 2005).

Wśród cech wyróżniających prawidłową postawę na ogół wymienia się: proste ustawienie głowy, fizjologiczne wygięcia kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej i prosty kręgosłup w płaszczyźnie czołowej, prawidłowo ukształtowana klatka piersiowa (charakteryzuje się tym, że mostek oraz cała część klatki wysunięte są ku przodowi, a żebra uniesione są w taki sposób, aby najdalej wystającą częścią ciała była przednia część klatki piersiowej), odpowiednio podparta miednica na głowach kości udowych, proste kończyny dolne oraz poprawnie wysklepione stopy. Na właściwą postawę ciała istotnie wpływa dobrze rozwinięty (wydolny) układ mięśniowy, prawidłowa budowa układu kostno-więzadłowego oraz właściwie funkcjonujący układ nerwowy, a sama postawa może być uznawana za kluczowy wskaźnik prawidłowego stanu narządu ruchu (Chun i in., 2017; Griegel-Morris i in., 1992; Salsali i in., 2023). Zajmujący się tą tematyką badacze są zgodni w kwestii mnogości

czynników oddziałujących na postawę ciała człowieka. Wpływa na nią wiele czynników endogennych, a wśród nich czynniki neurofizjologiczne, anatomiczne i biomechaniczne oraz psychoemocjonalne (Carini i in., 2017). Postawa ciała zależy także od wieku, płci, od stylu życia, a także od poziomu i rodzaju realizowanej aktywności ruchowej. W kontekście społecznym zależność może również od pochodzenia etnicznego, panujących zwyczajów i norm (Maciałyk-Paprocka i in., 2012; Wilczyński, 2005). Wpływ na postawę ciała mają zatem zarówno czynniki dziedziczne jak i środowiskowe, których wzajemne oddziaływanie przekłada się na efekt fenotypowy w postaci charakterystycznego i indywidualnego dla każdego człowieka układu ciała w przestrzeni (Wilczyński, 2005). Bardziej szczegółowe podejście w opisie i analizie postawy ciała bywa konieczne, choćby z powodu zmian rozwojowych. Wiadomo bowiem, że pełny rozwój funkcji postawy ma miejsce około 11. roku życia, a następnie utrzymuje się na stabilnym poziomie do około 65. roku życia (Carini i in., 2017; Kasperczyk, 2004; Wolański, 2012). Rozwój klatki piersiowej w ontogenezie również można podzielić na pewne etapy. W pierwszym roku życia odnotowuje się szybki wzrost obwodu klatki piersiowej, średnio o 13 cm. Do około 6 roku życia szerokość klatki piersiowej zwiększa się dwukrotnie, a w kolejnych czterech latach następuje zmiana ułożenia żeber (z poziomego na skośne) w stosunku do kręgosłupa, by do 11 roku życia osiągnąć ich ostateczne ułożenie. Wówczas podczas wdechu zwiększa się udział żeber. Drugie przyspieszenie wzrostu i rozwoju klatki piersiowej u dziewcząt i chłopców pojawia się w okresie dojrzewania. Klatka piersiowa zmienia kształt z cylindrycznego w formę przypominającą ścięty stożek (Kasperczyk, 2004).

1.2. Wady postawy ciała

Obserwacje różnych typów postawy w połączeniu z wiedzą dotyczącą anatomii i fizjologii człowieka doprowadziły do prób ich klasyfikowania i wskazywania kryteriów odróżniających postawę prawidłową od wadliwej. Określenie „nieprawidłowa postawa ciała”, choć nieprecyzyjne, powszechnie stosowane jest w praktyce klinicznej na określenie relacji pomiędzy różnymi częściami ciała, które można uznać za wadliwe. Obejmuje ono spektrum od postawy niedoskonałej do postawy patologicznej. Postawy wyraźnie nie mieszczące się w kryteriach postawy prawidłowej klasyfikuje się jako wadliwe, a konkretne odstępstwa

morfo-funkcjonalne określa się mianem wad postawy, które mogą mieć szkodliwy wpływ na zdrowie, szczególnie gdy są znaczne (Czaprowski i in., 2018; Kendall & McCreary, 1984).

Jedną z kluczowych deformacji kręgosłupa jaka się ujawnia w okresie gwałtownego wzrostu jest skolioza, czyli boczne skrzywienie kręgosłupa charakteryzujące się trójpłaszczyznowym zniekształceniem. Skrzywienie to powoduje nieprawidłowe funkcjonowanie wszystkich układów ustroju człowieka. Dotyczy ponad 80% wszystkich przypadków zaburzeń postawy ciała i występuje częściej u dziewcząt niż u chłopców (6-7 razy częściej)(Głowacki i in., 2003; Kwiatkowski i in., 2015). W populacji ogólnej skoliozę diagnozuje się u 2-3%, z czego 0,1-0,3% przypadków spełnia wskazania do zabiegu operacyjnego. U około 2,5% populacji diagnozuje się skoliozę idiopatyczną, której etiologia ma podłoże wieloczynnikowe, a wszystkie uwarunkowania i ich wzajemne relacje nie są dotychczas wyjaśnione. Wiadomo, że wpływ na pojawienie się i rozwój skoliozy mają uwarunkowania genetyczne, czynniki hormonalne, asymetria budowy ciała, czyli odziedziczona dominacja jednej półkuli mózgu (dzieci prawo- lub leworęczne), a także cechy konstytucjonalnej budowy ciała (Głowacki i in., 2003; Janssen, Kouwenhoven, i in., 2010; Janssen, Vincken, i in., 2010). Istnieje również pogląd, iż boczne skrzywienie kręgosłupa może być wynikiem np. nadmiernej wiotkości lub przykurczów, zaburzeń rozwoju kostnienia. Jako pierwotne przyczyny wskazuje się też zaburzenia w układzie mięśniowym, których zmiany kostne są jedynie następstwem. Badacze uważają, że najbardziej deformujące kręgosłup są zaburzenia w mięśniach krótkich, a więc stabilizatorach kręgosłupa (Kikanloo i in., 2019). Wiele spośród zasygnalizowanych wyżej kwestii dotyczących powstawania skoliozy może być istotnych w kontekście pojawiania się również innych zaburzeń budowy ciała człowieka. Co więcej, u pewnej części osób z wadami postawy obserwuje się współwystępowanie więcej niż jednej deformacji. Na przykład u około 5% dzieci z deformacjami klatki piersiowej występuje jednocześnie zniekształcenie kręgosłupa w postaci skoliozy właśnie (Williams & Crabbe, 2003).

1.2.1. Klatka piersiowa lejkowata

Prawidłowa klatka piersiowa charakteryzuje się tym, że mostek oraz cała przednia część klatki wysunięte są ku przodowi, a żebra są uniesione w taki sposób, aby najdalej wystającą częścią ciała była przednia część klatki piersiowej. Wyróżnia się trzy rodzaje klatki piersiowej ze

względu na stopień wysklepienia tej okolicy:

1. klatka piersiowa spłaszczona
2. klatka piersiowa płaska
3. klatka piersiowa beczkowata

Istnieją także patologiczne postaci klatki piersiowej, są to:

1. klatka piersiowa lejkowata (*pectus excavatum*)
2. klatka piersiowa kurza (*pectus carinatum*)
3. zespół Polandy
4. rozszczep mostka
5. zespół Jenuego (dusząca dystrofia klatki piersiowej) (Colombani, 2009).

Pomimo, że wady przedniej ściany klatki piersiowej uznaje się z reguły za wrodzone, to wynikające z nich deformacje często stają się widoczne podczas faz intensywnego wzrostu. Wówczas, u pacjentów z deformacjami w obrębie klatki piersiowej w czasie wykonywania codziennych aktywności mogą ujawnić się zaburzenia funkcjonowania układu krążeniowo-oddechowego. Zaburzenia te obok pogorszenia jakości życia związanego z niską oceną wyglądu własnego ciała i wynikających z tego kompleksów, są często powodem szukania przez pacjentów możliwości korekcji wady (Fokin i in., 2009; Shamberger, 1996).

Klatka piersiowa lejowata jest najczęstszą deformacją przedniej ściany klatki piersiowej. Charakteryzuje się ona zapadnięciem dolnej części mostka i przylegających do niego chrząstek żebrowych (Fokin i in., 2009; Kelly, 2008a; Shamberger, 1996; Willital i in., 2011). Trzon mostka ulega wygięciu do tyłu wraz z częścią przyśrodkową żeber. Rękojeść mostka pozostaje bez zmian. Największe zagłębienie znajduje się w okolicy połączenia wyrostka mieczykowatego z trzonem mostka. Niekiedy wygięcie mostka do tyłu jest kątowe lub tworzy łagodny łuk, ponieważ górna granica „lejka” powstaje na różnych wysokościach. Zmiany są symetryczne, kiedy dno „lejka” wypada dokładnie w linii środkowej. Natomiast, gdy przesunięte jest ono w prawo lub w lewo, wówczas zmiany są asymetryczne. Wskutek zapadnięcia się dalszej części mostka ulega powiększeniu kifoza piersiowa, a głowa, szyja i stawy barkowe wysuwają się do przodu (Fibak, 1963; Fokin, 2000).

Osoby z klatką piersiową lejkowatą często są apatyczne i nieruchliwe, wykazujące słabszy rozwój fizyczny w porównaniu do osób zdrowych. Charakteryzują się budową

asteniczną, dużą wysokością ciała i nieprawidłową postawą (Brochhausen i in., 2012). Skutki obecności klatki piersiowej lejkwatej dla postawy ciała są zazwyczaj łatwo zauważalne. Dzieci zaczynają się garbić, próbując prawdopodobnie podświadomie ukryć deformację. Poprzez rozciągnięcie mięśni grzbietu, poza widocznymi zmianami w ustawieniu barków do przodu, zauważa się wiotczenie mięśni brzucha, a przy oddychaniu występują paradoksalne ruchy klatki piersiowej. Osłabienie mięśni oddechowych, zmniejszenie pojemności życiowej płuc, ograniczenie ruchomości klatki piersiowej zdają się być głównymi skutkami zaburzeń funkcjonowania układów oddechowego i sercowo-naczyniowego u osób z zniekształconą klatką piersiową (Brochhausen i in., 2012; Fibak, 1963; Fokin, 2000; Williams & Crabbe, 2003). Deformacja ma również wpływ na kręgosłup – zwiększona kifoza piersiowa lub skolioza dotyczą średnio 15-20% przypadków z tą wadą (Brochhausen i in., 2012; Ewais i in., 2018; Fonkalsrud, 2003, 2009; M. J. Goretsky i in., 2004; Hong i in., 2011).

Wystąpienie wady klatki piersiowej lejkwatej wiąże się z fizjologicznymi nieprawidłowościami, w tym m.in. zaburzeniami w układzie sercowo-naczyniowym. Należą do nich: ograniczona zdolność do zwiększenia objętości wyrzutowej serca, rotacja i przemieszczenie serca w lewą stronę (serce wyczuwalne jest w linii pachowej środkowej, nieco poniżej pachy), sporadyczne występowanie skurczowych szmerów serca wzdłuż lewego górnego brzegu mostka. U pacjentów z tą wadą nierzadko w spoczynku występuje częstoskurcz, a w konsekwencji podczas wysiłku z obciążeniem submaksymalnym pojawia się bardzo wysokie tętno. U około 15-20% dzieci z klatką piersiową lejkwatą zidentyfikowano wypadanie płatków zastawki mitralnej. Poza tym ciśnienie wywierane przez mostek może osłabiać napełnienie prawego przedsionka serca, a zatem spowodować zmniejszenie frakcji wyrzutowej komór. Pacjentom z klatką piersiową lejkwatą towarzyszą ponadto inne objawy, w tym skrócony oddech, astma, częstsze infekcje oddechowe i inne (tab. 1). Skala nasilenia objawów uwarunkowana jest indywidualnie w zależności od przypadku. Zauważono bowiem, że ciężkość wady niekoniecznie dodatnio koreluje z nasileniem objawów (Coln i in., 2006; Colombani, 2009; Fonkalsrud, 2003, 2009; Jaroszewski i in., 2022; Malek i in., 2006; Williams & Crabbe, 2003).

Tab. 1. Częstość wybranych objawów występujących u pacjentów z deformacją przedniej ściany klatki piersiowej

Symptom lub stan	Odsetek pacjentów
Skrócony oddech, brak wytrzymałości, nietolerancja wysiłkowa	93%
Ból w klatce piersiowej podczas wysiłku lub bez wysiłku	71%
Astma lub objawy przypominające astmę	34%
Częste infekcje oddechowe	34%
<i>Wskaźniki kardiologiczne</i>	
Kompresja serca	85%
Przemieszczenie serca	73%
Szmery w sercu	26%
Wypadanie zastawki mitralnej	15%
Inne anomalie (blok odnogi pęczka Hisa, niewydolność aorty, niedomykalność zastawki, hipertrofia, deformacje)	16%
<i>Wskaźniki oddechowe</i>	
FVC poniżej 80%	26%
FEV1% poniżej 80%	32%
FEF _{25-75%} poniżej 80%	52%

(źródło: na podstawie Goretsky i in., 2004)

1.2.1.1. Epidemiologia i etiologia klatki piersiowej lejkowatej

Klatka piersiowa lejkowata stanowi około 65–95% wszystkich deformacji przedniej ściany klatki piersiowej w zależności od badanej populacji (Goretsky i in., 2004; Westphal i in., 2009). Wskaźnik zachorowalności (zapadalność) dla tej wady kształtuje się na poziomie 8 przypadków na każde 1000 żywych urodzeń. Dokładna wartość tego wskaźnika nie jest do końca rozpoznana, ponieważ wielkoskalowe badania populacyjne w tym zakresie nie zostały jak dotąd przeprowadzone. Szacuje się, że wskaźnik ten może być o 5% wyższy w stosunku do obecnie podawanego (Biavati i in., 2020; Kelly i in., 2005; Koumbourlis & Stolar, 2004).

U chłopców klatkę piersiową lejkowatą diagnozuje się 3-5 razy częściej niż u dziewcząt (Ghionzoli i in., 2016; Kuru i in., 2015; Ma i in., 2015; Obermeyer & Goretsky, 2012; Shamberger, 1996). Deformacja ta wyraźnie częściej występuje u ludzi rasy kaukaskiej niż wśród Afroamerykanów, Latynosów i Azjatów (Fonkalsrud, 2003; Koumbourlis & Stolar, 2004). Deformacje klatki piersiowej u 40% pacjentów rozpoznawane są zaraz po urodzeniu, natomiast u reszty dopiero w czasie pokwitania (Fokin, 2000; Kelly i in., 2005; Koumbourlis & Stolar, 2004). Zazwyczaj w pierwszym okresie rozwoju dziecka dynamika zmian struktur chrzęstno-kostnych klatki piersiowej nie jest duża, jednak w okresie gwałtownego wzrostu i rozbudowy układu kostnego zniekształcenie mocno się zaznacza. Deformacje mają wówczas tendencję do nasilania się, kiedy to łagodne wady mogą stać się ciężkimi, niekiedy w bardzo krótkim czasie – 6-12 miesięcy (Nuss & Kelly, 2009; Willital i in., 2011).

Klatka piersiowa lejkowata najprawdopodobniej jest uwarunkowana genetycznie, chociaż nie zostały do końca poznane mechanizmy jej dziedziczenia (Andreescu i in., 2022; Creswick i in., 2006). W badaniach biorących pod uwagę wywiad rodzinny stwierdzano występowanie tej wady u 45-54% członków rodziny (David, 2022; Kloth i in., 2022). Klatkę piersiową lejkowatą powiązano z licznymi defektami uwarunkowanymi genetycznie, które szczegółowo opisali Billar i wsp. oraz Kotzota i Schwabegger (Billar i in., 2021; Kotzot & Schwabegger, 2009). Najczęściej wymieniane w tym kontekście są zaburzenia wpływające na prawidłowy wzrost tkanki łącznej, tj. zespół Marfana i zespół Ehlersa-Danlosa (Andreescu i in., 2022; Fokin i in., 2009; Hedesz i in., 2024).

Najistotniejsze hipotezy dotyczące przyczyn powstawania wady klatki piersiowej lejkowatej dotyczą zaburzeń struktury chrząstek żebrowych. Historycznie donoszono o obserwacjach niedostatecznego rozwoju tych chrząstek, jak również o ich przeroście. Nie oznacza to, że część doniesień była fałszywa, a wskazywać może raczej na wtórny charakter zmian, bowiem zaburzenie budowy przedniej ściany klatki piersiowej może biomechanicznie wpływać na rozwój i ostateczną morfologię chrząstek (Eisinger i in., 2019; Janssen i in., 2024; Karakılıç i in., 2018).

Wśród innych przyczyn powstawania zniekształceń klatki piersiowej wymienia się: ucisk wewnątrzmaciczny, porażenie mięśniowe, zapalenia, urazy powodujące zmiany w przeponie czy zaburzenia wzrostu żeber. W chrząstkach żebrowych u dzieci z wadami klatki

piersiowej stwierdza się niewielkie zmiany w budowie kolagenu, jednakże ich związek z powstawaniem wady nie jest jak dotąd ostatecznie wyjaśniony (Fonkalsrud, 2009; Janssen i in., 2024; C. H. Park i in., 2015a, 2015b; Williams & Crabbe, 2003).

1.2.1.2. Metody leczenia klatki piersiowej lejkowatej

W kilku ostatnich dekadach metody korekcji wad przedniej ściany klatki piersiowej przeszły znaczną ewolucję. Zamiast szerokiej resekcji przednich struktur ściany klatki piersiowej, obecnie stosuje się maksymalne jej ograniczenie lub całkowity jej brak. Ta zmiana w filozofii chirurgii wynika z wielu kwestii, m.in. rozwoju wysoko wyspecjalizowanych urządzeń torakochirurgicznych, które umożliwiają dostęp do jamy ciała poprzez kilkucentymetrowe nacięcia, a także wskutek poprawy jakości znieczulenia (Nuss i in., 1998).

Aż do początku XX wieku operacje przedniej ściany klatki piersiowej były wykonywane przez chirurgów bez limitów, ponieważ znieczulenie podawane było wówczas przy użyciu maski nakładanej na twarz pacjenta. Intubacja oraz nadciśnieniowe techniki wentylacyjne nie były w tym czasie jeszcze wypracowane. Wady przedniej ściany klatki piersiowej usuwano wtedy poprzez dwustronne resekcje chrząstek żeber i mostka techniką osteotomii. Wymagana była jedynie stabilizacja zewnętrzna używana do trakcji po zabiegu. Pozwalało to, by korekcje klatki piersiowej lejkowatej oraz kurzej były wykonywane bez otwierania klatki piersiowej. W połowie XX stulecia możliwości operacyjno-anestezjologiczne były już znacznie lepsze. Stabilizację mostka uzyskiwano wtedy poprzez bardziej radykalne wycięcie zniekształconych chrząstek żeberowych, przycięcie tylnej blaszki mostka i krótkich więzadeł z równoczesnym wypchnięciem mostka do przodu. Dodatkową stabilizację przy tym zabiegu uzyskiwano poprzez przyszywanie mięśni piersiowych większych do mostka. Nie zawsze jednak efekt kosmetyczny był zadowalający. Taka modyfikacja stała się standardową techniką korekcji klatki piersiowej lejkowatej przez prawie 40 lat, a znana jest jako metoda Ravitcha. W ostatniej dekadzie XX wieku torakochirurdzy zwrócili uwagę, że zbyt szeroka resekcja przednich struktur ściany klatki piersiowej może w konsekwencji doprowadzić do chondrodystrofii (zaburzenie kostnienia śródchrzęstnego) więc konieczne było opracowanie nowego podejścia do leczenia zabiegowego wad przedniej ściany klatki piersiowej (Białas & Jabłoński, 2010).

W 1987 Donald Nuss opracował małoinwazyjną metodę korekcji klatki piersiowej lejkwatej – MIRPE (ang. *minimally-invasive repair technique of pectus excavatum*), często nazywaną metodą Nussa. Technika ta nie wymaga wycięcia chrząstek żebrowych oraz mostka. Polega na wprowadzeniu poprzez dwucentymetrowe cięcie w linii pachowej jednej do trzech płytek do wnętrza klatki piersiowej. Po obróceniu płytek, zapadnięty mostek jest wypychany, do poziomu wystających żeber, redukując deformację. Metalowe płytki pozostawia się w ciele na okres 2 do 3 lat (Hebra i in., 2016; Nuss i in., 1998). Płytki wykonane są ze stali nierdzewnej, kobaltu i niklu. Jeżeli pacjent jest uczulony na któryś z komponentów wówczas wykorzystuje się płytki tytanowe (Rushing i in., 2007).

Chirurgiczna społeczność szybko zaakceptowała nową procedurę, ponieważ metoda Nussa okazała się operacją bezpieczną i dającą zadowalające efekty (Ewais i in., 2018; Nuss i in., 1998). Wyniki uzyskiwano dobre i bardzo dobre u ponad 95% pacjentów, u których nie wykonano resekcji, a tylko niewielkie nacięcia w bocznych ścianach klatki piersiowej w celu umieszczenia płytek. Takie podejście stało się standardem na całym świecie. Warto zwrócić uwagę, że główne zalety jakie niesie ze sobą zabieg Nussa to krótszy czas operacji w porównaniu z metodą Ravitcha, mniejsze nacięcia skórne, co skutkuje krótszym czasem hospitalizacji, a także mniejszą liczbą powikłań i niższą śmiertelnością (Nuss i in., 1998; Robicsek & Hebra, 2009).

W związku z mniejszą inwazyjnością metoda Nussa zdobyła dużą popularność, zwłaszcza w przypadku leczenia korekcyjnego dzieci. Warto podkreślić, że wczesna korekta chirurgiczna zapobiega powstawaniu wad postawy oraz pojawianiu się dysfunkcji układu krążeniowo-oddechowego w życiu dojrzałym, wynikających z utraty sprężystości i elastyczności klatki piersiowej. Stosowanie tej metody u dorosłych wiązać się może z ryzykiem nawracania lejkwatości klatki. W takich przypadkach stosuje się przeważnie zmodyfikowaną metodę Ravitcha. Wg Kowalewskiego (1999) najniższy odsetek trwałych efektów kosmetycznych uzyskuje się u chorych w wieku od 6 do 12, lepszy od 12 do 18 roku życia oraz u dorosłych (Kowalewski, 1999). Kamata i wsp. (2001) uważają za szkodliwe wykonywanie zabiegu operacyjnego u bardzo młodych pacjentów (poniżej 4 roku życia) (Kamata i in., 2001). Abdullah i Harris (2016) rekomendują, by korekcja chirurgiczna nastąpiła po dużym skoku wzrostowym u dziecka (Abdullah & Harris, 2016).

Od momentu opracowania metody Nussa wykonano z jej wykorzystaniem pokaźną liczbę zabiegów korekcji klatki piersiowej lejkowatej na całym świecie. Poniżej przedstawione zostaną wybrane doniesienia wskazujące na osiągnięte tą metodą wyniki leczenia. Jej twórca poddając leczeniu 668 pacjentów uzyskał następujące rezultaty: 78,5% pacjentów – doskonałe wyniki leczenia, 13,1% – dobre, 4,7% – zadowalające, 3,7% – niepowodzenie po upływie co najmniej roku od usunięcia płytek. U 78,1% pacjentów użyto pojedynczej płytki, a u 21,7% dwóch płytek (Nuss, 2005). Porównanie osiągniętych wyników leczenia oraz powstałych komplikacji po zabiegu chirurgicznym metodami Nussa i Ravitcha opisali Williams i Crabbe (2003). Według tego zestawienia doskonały efekt korekty metodą Nussa uzyskano u 71% pacjentów, natomiast dobry u 21% operowanych pacjentów. Jacobs i wsp. (2002) w swoim opracowaniu udowadniają, że wybór tej procedury jest korzystny dla pacjentów z klatką piersiową lejkowatą niezależnie od wieku, a pooperacyjne, krótkoterminowe wyniki analizowanych przypadków są doskonałe (Jacobs i in., 2002). Pilegaard i Licht (2008) stwierdzili nawet, że bezpiecznie przeprowadzona korekcja wady, z doskonałym końcowym efektem kosmetycznym, może być wykonywana u dorosłych poniżej 50 roku życia (Pilegaard & Licht, 2008). Castellani i wsp. (2008) u 167 pacjentów (136 chłopców i 31 dziewczynek, u których średni wiek wynosił 16,3 lat) analizowali odsetek występowania wczesnych powikłań po zabiegu wykonywanym metodą Nussa (Castellani i in., 2008). Zaobserwowali oni, że poważne powikłania wystąpiły u siedmiu pacjentów (4,2%). Mniejsze powikłania stwierdzono u 122 pacjentów (73,1%) i były to między innymi wysięk opłucnej, uszkodzenie mięśnia międzyżebrowego czy niedodma płuca. Poważne powikłania związane z korekcją klatki piersiowej lejkowatej były rzadkością (Castellani i in., 2008; Croitoru i in., 2002). Croitoru i wsp. wykazali u 84,5% operowanych metodą Nussa pacjentów doskonałe wstępne wyniki z minimalną zachorowalnością i śmiertelnością. Średni wiek pacjentów wynosił w tej grupie 12,4 lat (Croitoru i in., 2002). Mansour i wsp. prowadzili obserwację długoterminową u 71 pacjentów. Z tej grupy 71,8% miało doskonałe wyniki, 19,7% dobre, a u 8,5% korekcja nie powiodła się (Mansour i in., 2003). Skuteczność tej metody i jej bardzo dobre końcowe wyniki podobnie przedstawiają również inni autorzy w swoich doniesieniach (Jaroszewski i in., 2022; Schalamon i in., 2006; Shaalan i in., 2017; Shin i in., 2007).

Podsumowując, główne zalety metody Nussa to: brak nacięcia przedniej ściany klatki piersiowej; brak chirurgicznego skracania mięśnia piersiowego; brak usuwania chrząstek

żebrowych; brak osteotomii mostka; krótki czas operacyjny; minimalna utrata krwi; szybki powrót do pełnej aktywności; utrzymanie prawidłowego rozwoju i elastyczności klatki piersiowej; doskonały efekt kosmetyczny (Nuss i in., 1998).

Osoby z klatką piersiową lejkowatą do leczenia operacyjnego kwalifikuje się głównie ze względu na występujące dolegliwości pochodzące z układu oddechowego lub krążenia. Do najważniejszych objawów branych pod uwagę przez torakochirurgów zaliczyć należy: częste zapalenia płuc i dróg oddechowych, duszność wysiłkową, zmniejszenie życiowej pojemności oddechowej, zmniejszenie ogólnej sprawności fizycznej lub znaczne przemieszczenie serca w lewą stronę, a także łatwe męczenie, tachykardię, obniżoną wydolność, bóle w przedniej ścianie klatki piersiowej, względy kosmetyczne, depresję wieku młodzieńczego (Ewert i in., 2017; Felts i in., 2009; Fonkalsrud, 2009; Janssen i in., 2023; Kelly, 2018). Głębokość deformacji mostka może się różnić, w niektórych przypadkach wykazując jedynie defekt kosmetyczny, a w poważniejszych przemieszczenie serca przy zmniejszonej objętości płuc. Wewnętrzne odkształcenie mostka może prowadzić do ucisku prawej strony serca i istotnego obniżenia wydolności płuc (Fokin, 2000; Fonkalsrud i in., 2000).

Od czasu wprowadzenia metody Nussa do leczenia korekcyjnego przedniej ściany klatki piersiowej, dzięki jej szerokiemu stosowaniu i towarzyszącej temu wieloletniej weryfikacji kryteria kwalifikacji do zabiegu zostały sprecyzowane i stały się mniej radykalne. Decyzja o zabiegu nie jest już wyłącznie podejmowana na podstawie badania fizycznego i historii zdrowia pacjenta, ale również potwierdzana jest wynikami tomografii komputerowej, wynikami testów czynnościowych płuc, oceną serca (EKG, echokardiogram), oznaczeniem wartości wskaźnika Hallera (uzyskuje się go poprzez badanie za pomocą tomografii komputerowej dzieląc średnicę poprzeczną przez średnicę przednio-tylną klatki piersiowej, wartość wskaźnika na poziomie 3,25 i więcej przyjmuje się za wskazanie do zabiegu – bardziej szczegółowy opis tego wskaźnika zamieszczono w dalszej części tego rozdziału). Niektóre placówki kwalifikują pacjentów do zabiegu na podstawie subiektywnych względów kosmetycznych uznając kwestię obniżonego samopoczucia i samooceny pacjenta za wystarczające wskazanie do wykonania korekcji klatki piersiowej lejkowatej (Haller i in., 1987; Janssen i in., 2023; Kelly, 2008b, 2018; Nuss & Kelly, 2010). Należy podkreślić, że tego typu powody do zabiegu nie zawsze są w pełni akceptowane przez wszystkich specjalistów (Abdullah & Harris, 2016).

Według Croitoru i wsp. (2002) wskazaniem do korekcji wady klatki piersiowej lejkowatej jest występowanie minimum dwóch z sześciu kryteriów: 1) stopień wady wg wskaźnika Hallera wyższy niż 3,25; 2) wynik funkcjonalnego badania płuc potwierdzający występowanie chorób układu oddechowego, np. przewlekłej obturacyjnej choroby płuc – POCHP; 3) negatywny wynik oceny kardiologicznej – zdiagnozowanie zaburzeń rytmu serca, szmerów, wypadania płotka zastawki mitralnej, zaburzeń przewodzenia podczas badania echokardiograficznego, wątpliwych zapisów EKG; 4) wynik wywiadu i analizy dokumentacji pacjenta świadczący o progresji wady lub towarzyszących innych subiektywnych objawach; 5) niezadowolający rezultat korekcji wady metodą Ravitcha; 6) niezadowolający rezultat korekcji inną małoinwazyjną metodą (Croitoru i in., 2002).

W literaturze przedmiotu można znaleźć informacje o polskim wskaźniku określającym głębokość wady klatki piersiowej lejkowatej. Wskaźnik autorstwa Kopera i Króla z 1957 roku określa iloraz największej odległości mierzonej od kręgosłupa do mostka powyżej zagłębienia i odległości przedniej powierzchni kręgosłupa od tylnej powierzchni najbardziej uwypuklonego punktu, który znajduje się na mostku. Ów iloraz wynosi mniej niż jeden w przypadku prawidłowej klatki piersiowej, a przy klatce piersiowej lejkowatej wynosi więcej niż jeden. Im wartość wskaźnika jest wyższa tym wada jest cięższa (Kacprzak & Kołodziej, 2005) (tab. 2). Wskaźnik ten obecnie nie jest już zbyt często wymieniany w specjalistycznym piśmiennictwie torakochirurgicznym, co może oznaczać iż jego wykorzystywanie podczas procedury kwalifikacji do zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej nie ma już miejsca.

Tab. 2. Wartości wskaźników Kopery i Króla określających głębokość wady klatki piersiowej lejkowatej

Stopień	Wartość ilorazu
I	1-1,1
II	1,1-1,3
III	>1,3

(źródło: Kacprzak & Kołodziej, 2005)

Standardową miarą do oceny natężenia stopnia wady przedniej ściany klatki piersiowej jest indeks Hallera. Wartość tego wskaźnika można uzyskać przy zastosowaniu obrazu uzyskanego metodą tomografii komputerowej dzieląc średnicę poprzeczną klatki piersiowej w najgłębszym miejscu deformacji przez jej średnicę przednio-tylną. Najgłębszy punkt depresji nie musi być związany z mostkiem, może być również zlokalizowany wokół stawów międzyczrząstkowych (Rodríguez-Granillo i in., 2019). We wstępnym raporcie twórcy wskaźnika wszyscy pacjenci, którzy wymagali operacyjnej korekcji klatki piersiowej lejkowatej posiadali indeks wyższy niż 3,25, podczas gdy u pacjentów wysyłanych na rutynową kontrolę do poradni specjalistycznej wskaźnik ten był niższy. Wydawało się więc, że badanie z wykorzystaniem tomografii komputerowej będzie przydatnym uzupełnieniem w procesie kwalifikacyjnym do zabiegu korekcji przedniej ściany klatki piersiowej (Haller i in., 1987; Janssen i in., 2024). Jednak w 2011 roku przeprowadzono badania dotyczące wiarygodności indeksu Hallera w procesie oceny pacjentów z wadą klatki piersiowej lejkowatej i pacjentów bez tej wady. Przebadano 220 osób w grupie kontrolnej oraz 252 pacjentów z klatką piersiową lejkowatą. Dowiedziono, że u pacjentów z klatką piersiową lejkowatą wartość indeksu Hallera pokrywała się w 47,7 % z wartością tego wskaźnika u osób z grupy kontrolnej. Wówczas na bazie indeksu Hallera powstał drugi z najczęściej dziś używanych wskaźników – indeks PCI (ang. *pectus correction index*). PCI uzyskuje się poprzez wyrysowanie poziomej linii w poprzek przedniego odcinka kręgosłupa. Następnie mierzone są dwie odległości: minimalna odległość między tylną częścią mostka a przednią częścią kręgosłupa oraz odległość między wewnętrznym brzegiem przedniej części klatki piersiowej a linią poziomą. Ostatnią odległość uzyskuje się z tego samego wycinka, jaki został wybrany dla minimalnej odległości pomiędzy tylnym mostkiem a przednim odcinkiem kręgosłupa. Aby wygenerować PCI, różnicę między tymi dwiema odległościami dzieli się przez maksymalną głębokość klatki piersiowej, a następnie mnoży przez 100. Wartość indeksu PCI mówi o natężeniu wady, w związku z czym wykorzystywany jest do kwalifikowania pacjentów do zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej (St Peter i in., 2011).

Opisywane wskaźniki nie uwzględniają z oczywistych powodów dolegliwości fizycznych i psychicznych występujących u osób poddawanych kwalifikacji do zabiegu korekcji. W 2018 roku na 8-letniej dziewczynce przeprowadzono zabieg korekcji lejkowatej klatki piersiowej metodą Nussa. Dziewczynkę cechowała ciężka depresja mostka, nietolerancja wysiłku,

zmęczenie oraz duszność podczas wysiłku. W tym przypadku zarówno wskaźnik Hallera, jak i wskaźnik korygujący (PCI) nie były przydatne do oceny nasilenia wady klatki. Jest to przykład mówiący o potrzebie wzięcia pod uwagę różnych okoliczności i parametrów, by wyniki pomiarów radiologicznych nie były uznawane za jedyne kryterium, na podstawie którego podejmowana jest decyzja o kwalifikacji do zabiegu (Buziashvili i in., 2019; Dore i in., 2018). Podnoszonemu w piśmiennictwie brakowi pełnego porozumienia w sprawie przyjętych wskazań do korekcji, towarzyszy również refleksja o potrzebie stworzenia uniwersalnego protokołu diagnostycznego na potrzeby kwalifikacji do operacji (Janssen i in., 2023).

Według Abdullah i Harrisa głównym wskazaniem do zabiegu operacyjnego powinno być występowanie zmniejszonej pojemności krążeniowo-oddechowej, a nie powody kosmetyczne (Abdullah & Harris, 2016). Względy kosmetyczne nie powinny być jednak zupełnie pomijane, ponieważ u niektórych pacjentów może rozwinąć się kompleks psychiczny związany z brakiem akceptacji własnego wyglądu (Kowalewski, 1999).

1.2.1.3. Alternatywne metody leczenia

Zdarzają się przypadki samoistnego uwypuklenia płytkich deformacji, jednakże w większości przypadków po okresie niemowlęcym u dzieci z lejkowatą klatką piersiową jedynym sposobem korekty klatki piersiowej jest zabieg chirurgiczny. Pierwsze pomysły leczenia tej wady, wiązały się z leczeniem zachowawczym za pomocą gorsetów gipsowych, stałego wyciągu za pomocą śruby, która była wkręcona w mostek, gimnastyki oddechowej czy pneumatycznych aparatów ssących (Felts i in., 2009; Fibak, 1963). Te ostatnie służą do tworzenia próżni. Pacjent aktywuje ręczną pompę tworząc podciśnienie aż do 15% poniżej ciśnienia atmosferycznego. Wyróżnia się trzy wielkości przyssawek zwanych dzwonami próżniowymi (16 cm, 19 cm, 26 cm), które są wybierane indywidualnie, w zależności od wieku pacjenta. Urządzenie powinno być stosowane co najmniej 30 minut (dwukrotnie w ciągu dnia), a maksymalny czas zabiegu winien trwać kilka godzin. Podczas leczenia tą metodą mogą pojawić się różnego rodzaju powikłania, do których należą: krwiak podskórny, wybroczynowe krwawienie, ból pleców, przemijające parastezje kończyn górnych podczas zabiegu, a także w rzadkich przypadkach złamania żeber. Główne przeciwwskazania do aplikacji tego rodzaju

korekcji klatki piersiowej lejkowej to: wrodzona łamliwość kości, krzywica, zespół Marfana, tętniaki, wady serca. W doniesieniach Hacker i Mayr przed rozpoczęciem leczenia głębokość wady klatki piersiowej lejkowej wahała się od 2,5 cm do 5 cm. U 34 pacjentów natychmiast po zastosowaniu pneumatycznego aparatu mostek i żebra uległy podniesieniu. Jednakże po usunięciu dzwonu próżniowego mostek opadał szybciej w grupie pacjentów < 18 roku życia niż w grupie dorosłych (elewacja mostka trwała od 30-60 minut). Po 3 miesiącach u 27 pacjentów (79%) udokumentowano uniesienie mostka ponad 1,5 cm. Po 12 miesiącach, mostek został zniesiony do normalnego poziomu u pięciu pacjentów (14,7%). Autorzy wnioskuje, że aparat próżniowy może być alternatywą terapeutyczną metodą korekcji u wybranych pacjentów z klatką piersiową lejkową, jednakże brakuje badań długoterminowych na ten temat (Haecker & Mayr, 2006).

Przyssawka może być również użyteczna w zastosowaniu procedury Nussa. Dzięki zastosowaniu przyssawki, mostek może być wyciągnięty do przodu w ciągu kilku minut, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia serca. Ponadto, za pomocą przyssawki na kilka miesięcy przed operacją można poprawić wyniki ewentualnego zabiegu. U 60 pacjentów (56 kobiet, 4 mężczyzn) przeprowadzono leczenie za pomocą przyssawki przez 18 miesięcy. Odnotowano, że u 57 pacjentów klatka piersiowa lejkowa miała charakter symetryczny, a u 3 asymetryczny. Pacjenci byli w wieku od 6,1 do 34,9 lat (mediana 14,8 roku). Codziennie stosowano zróżnicowane przyssawki u różnych osób. Zabieg trwał w zakresie od 30 minut dwa razy dziennie aż do 5 godzin na dobę, z medianą czasu trwania 1,5 godziny. Po 1 miesiącu, zauważono znaczną poprawę postawy ciała i zmniejszenia depresji mostka o 1 cm u wszystkich pacjentów. Po 5 miesiącach mostek został podniesiony do prawidłowego poziomu u 12 pacjentów ocenianych bezpośrednio po zastosowaniu przyssawki. Maksymalna osiągnięta zmiana uniesienia mostka wyniosła 1 cm na miesiąc. U pacjentów z klatką piersiową lejkową, zastosowanie próżni skutecznie wypycha depresję powierzchni klatki piersiowej do przodu. Wstępne wyniki okazały się zachęcające, choć czas wymagany do korekcji długoterminowej jest nieznan. Ta metoda jest obiecująca jako terapia skojarzona w celu korekcji klatki piersiowej lejkowej (Schier i in., 2005).

Inni badacze zaprezentowali swoje wczesne wyniki zmodyfikowanej techniki Robicsek'a opartej na metodzie Ravitcha poprzez wykorzystanie Dual Mesh 2-mm Gore Tex. Ich doświadczenie pokazuje, że Dual Mesh 2-mm Gore-Tex jest idealnym materiałem do utrzymania tylnej części mostka. Materiał ten to siatka, która posiada dwie różne

powierzchnie. Jedna powierzchnia jest gładka i zdolna do minimalnego przytwierdzania do sąsiadujących tkanek (worka osierdziowego), natomiast druga głównie cechuje się zdolnością do wrastania w tkanki i przylega to tylnej części mostka powodując tworzenie się zrostów pomiędzy nimi. Dual Mesch 2-mm Gore Tex wydaje się być idealnym materiałem do wsparcia mostka w skorygowanej pozycji. Autorzy polecają tę technikę młodym i dorosłym pacjentom z klatką piersiową lejkowatą (Kotoulas i in., 2003).

Inną alternatywną metodą korekcji klatki piersiowej lejkowatej jest wprowadzenie niestandardowego, silikonowego implantu pod skórę poprzez nacięcie pępownikowe lub w okolicy podsutkowej u kobiet oraz poprzez czterocentymetrowe nacięcie w górnej części brzucha u mężczyzn. Jest to metoda małoinwazyjna, w czym przypomina metodę Nussa, jednak nie była ona jak dotąd szeroko stosowana na większych grupach pacjentów (Horch & Springer, 2002; Margulis i in., 2006).

Zestawienie metod stosowanych w leczeniu wady klatki piersiowej lejkowatej zawarto w tabeli 3.

Tab. 3. Główne metody zabiegowe stosowane na świecie w celu korekcji klatki piersiowej lejkowatej

Autor*	Metoda operacyjna	Etiologia	Uwagi
Meyer 1911	Pierwsza udana korekcja LKP przez jednostronną resekcję chrząstki żebrowej	Pochodzenie kostnochrzęstne	Rozwinięcie procedury Ravitcha
Brown 1940	Oddzielenie odcinka przyczepu przepony od mostka	Trakcja przepony	Metoda zarzucona
Ravitch 1949	Otwarta korekta Obustronna resekcja chrząstki żebrowej Osteotomia mostka Wiele ulepszeń Rebheim: stabilizacja metalowym ostrzem Welsch: chroni chrząstkę Haller: mocowanie na statywie	Więzadło podmostkowe	Główna technika chirurgiczna w XX wieku Nadal w użyciu

	Fonkalsrud: ponowne przyłączenie podzielonych chrząstek Willital: mostkowy drążek stabilizacyjny		
Wada 1961	Obrót mostka całkowite oddzielenie mostka	Przerost chrząstki	Rzadko, nadal w użyciu Wysoki stopień powikłań
Allen i wsp. 1979	Implant silikonowy Ubytek uzupełnia się implantem silikonowym	–	Rzadko, nadal w użyciu Wartość czysto estetyczna
Nuss i wsp. 1996	Korekcja metodą Nussa Dostęp torakoskopowy Brak resekcji chrząstki	Przerost chrząstki	Złoty standard
Isakov i wsp. 1980 Harrison i wsp. 2007	Implant magnetyczny Podmostkowe umieszczenie magnezu Drugi magnes na zewnętrznym gorsecie Korekcja poprzez przyciąganie magnetyczne	Przerost chrząstki	Rzadko używane Ograniczone doświadczenie (niewielka liczba przeprowadzonych procedur) Słabe wyniki
Weber i wsp. 2006	Korekta elastyczna Minimalna resekcja chrząstki Wstawienie elastycznej bańki piersiowej	Przerost chrząstki	Ograniczone doświadczenie (niewielka liczba przeprowadzonych procedur)

(źródło: David, 2022)

*Cytowane prace dostępne w artykule David 2022

1.3. Kontrola postawy ciała

1.3.1. Stabilność posturalna

Wyprostowana postawa ciała na dwóch kończynach dolnych jest istotna i ważna już sama w sobie, ale jest ona również punktem wyjścia do rozpoczynania różnych czynności codziennego życia. Zdolność do przyjmowania stabilnej postawy ciała nabywana jest przez człowieka podczas jego wczesnego okresu życia dzięki kształtowaniu się różnorodnych mechanizmów składających się na system kontroli postawy ciała (Winter i in., 1998). System ten, zapewniający stabilność posturalną określaną w literaturze również mianem równowagi ciała (a także kontrolą równowagi, czy kontrolną posturalną), dotyczy złożonych procesów sterowania odpowiedzialnych za utrzymywanie wyprostowanej postawy ciała (Collins & De Luca, 1994; Mitchell i in., 1995; Stemplewski, 2013; Winter, 1995).

Prawidłowy rozwój stabilności posturalnej związany jest z dojrzewaniem ośrodkowego układu nerwowego, rozwojem organizacji sensorycznej przy właściwym wykorzystaniu informacji proprioceptywnej, wzrokowej, przedsionkowej oraz od reakcji w ramach różnych strategii postawy, które pozwalają na utrzymaniu stabilności w zmiennych warunkach środowiskowych (Orendorz-Frączkowska & Kubacka, 2019). Brak jest konsensusu co do momentu, w którym stabilność posturalna u dzieci staje się porównywalna z tą u dorosłych. Niektórzy autorzy (Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Wolff i in., 1998) podają wiek 7–10 lat, podczas gdy inni (Nolan i in., 2005; Peterson i in., 2006) sugerują, że niektóre aspekty kontroli postawy wciąż się rozwijają po 9–10 roku życia. Nie brak również wiarygodnych obserwacji potwierdzających, że postęp dojrzewania trwa przez całe dzieciństwo i nie osiąga poziomu dorosłego nawet w wieku 14–15 lat (Barozzi i in., 2014; Cumberworth i in., 2007; Ferber-Viart i in., 2007; Hirabayashi & Iwasaki, 1995; Steindl i in., 2006; Wiernicka i in., 2019).

W ujęciu biomechanicznym stabilność posturalna odnosi się do kontroli środka ciężkości ciała, najczęściej określanego w literaturze skrótem COG (ang. *centre of gravity*). Jest to punkt przyłożenia wypadkowej siły reakcji na działanie siły ciężenia umieszczony na wysokości równiej około 55% wysokości ciała na linii łączącej stawy krzyżowo-biodrowe, a jego rzut

pionowy przypada na obszar podparcia między stopami, ok. 3-4 cm przed kostkami przyśrodkowymi (Bottaro i in., 2008; Stemplewski, 2013; Termoz i in., 2008; Winter, 1995; Winter i in., 1998).

Klasyczna definicja stabilności posturalnej oparta jest na położeniu COG i jego przemieszczaniu w obrębie płaszczyzny podparcia. W płaszczyźnie poziomej COG nie jest utrzymane w jednym punkcie przestrzeni, lecz oscyluje wokół niego. Te małe ruchy w literaturze opisywane są jako kołysanie posturalne (ang. *postural sway*). Możliwość utrzymania ciała w równowadze jest stanem chwilowym. Dzięki aktywnej kontroli pozycji COG w przestrzeni organizm człowieka pozostaje raczej stabilny niż zrównoważony. W tym kontekście stabilność posturalną należy uznać za zdolność do przywrócenia optymalnego położenia COG poprzez uruchamianie mechanizmów przeciwstawiających się czynnikom destabilizującym. Przemieszczanie się COG przy zachowaniu stabilnej pozycji ma zakres ograniczony do tak zwanego pola powierzchni wyznaczonego rzeczywistymi granicami stabilności. Obszar taki ma zazwyczaj powierzchnię zdecydowanie mniejszą niż pole płaszczyzny podparcia i dodatkowo zmniejsza się wraz z wiekiem. Istnieje ponadto pewien margines bezpieczeństwa wychylenia COG, jednak po jego przekroczeniu odzyskanie stabilności nie jest już możliwe i konieczna jest zmiana pozycji, a gdy ta nie następuje w porę może dojść do upadku. Uproszczony model stabilności posturalnej człowieka stojącego w pozycji wyprostowanej w związku z niewielkimi rozmiarami płaszczyzny podparcia (i tym samym pola stabilności) w stosunku do zakresu przemieszczeń COG porównuje się do odwróconego wahadła, którego oś obrotu zbieżna jest z osią obrotu stawów skokowych. Model ten opisuje człowieka jako sztywną bryłę, co nie w pełni oddaje możliwości i sposoby reagowania na czynniki destabilizujące postawę (Błaszczyk & Czerwosz, 2005; Peterka & Benolken, 1995; Stemplewski, 2013; Winter i in., 1998).

Podstawowe strategie reakcji na czynniki destabilizujące postawę ciała to strategia stawów skokowych, strategia stawów biodrowych oraz strategia kroku (Horak, 1987; Nashner i in., 1989; Stemplewski, 2013). Strategia stawów skokowych odnosi się do niewielkich wychyleń środka ciężkości (COG), gdzie ruchy stawów kolanowych i biodrowych są minimalne, a oś obrotu przypada głównie na stawy skokowe (Morasso & Schieppati, 1999; Stemplewski, 2013). Podczas realizacji strategii stawów skokowych aktywowane są najpierw mięśnie poniżej stawów kolanowych kończyn dolnych (brzuchaty łydki lub piszczelowy przedni, odpowiednio

do zwrotu wychylenia), a w drugiej kolejności mięśnie odpowiedzialne za stawy kolanowe (Thornby, 1995). Kiedy wychylenia COG są większe i reakcja ze stawów skokowych jest niewystarczająca, uruchamiana jest strategia stawów biodrowych. W takiej sytuacji pierwsze mięśnie które biorą udział w utrzymaniu równowagi należą do stawów biodrowych (Horak, 2006; Stemplewski, 2013). Obie wymienione strategie należą do grupy reakcji ze stałą (niezwiększającą się) płaszczyzną podparcia. Gdy również strategia stawów biodrowych okazuje się niewystarczająca dla osiągnięcia stabilności, uaktywnia się strategia kroku. Polega ona na wykonaniu kroku w celu powiększenia powierzchni podparcia i nie dopuszczenia do zbyt dużego przemieszczania się COG poza granice stabilności. Do reakcji przebiegających ze zmianą płaszczyzny podparcia zalicza się również próby wspierania się na stabilnych obiektach znajdujących się w pobliżu, jak np. meble, ściany, poręcze, itp. (Horak, 1987; Pollock i in., 2000; Stemplewski, 2013).

Skuteczność systemu utrzymania stabilności posturalnej zależy od dostępności i wiarygodności informacji z układu przedsionkowego i somatosensorycznego. Kiedy którykolwiek z tych elementów ulegnie patologicznej zmianie, amplituda oscylacji COG na ogół rośnie, a aktywność mięśni posturalnych wzrasta w celu utrzymania stabilnej postawy (Carini i in., 2017; Peterka & Benolken, 1995). W ogólnym ujęciu system kontroli posturalnej składa się z trzech części: 1) układu odbierającego i doprowadzającego bodźce, 2) centralnej części analizującej, i 3) części efektorowej realizującej strategię utrzymania stabilności. Informacje pochodzące z otoczenia odbierane są przez narządy zmysłów, takie jak wzrok (przez siatkówkę), receptory skórne (przede wszystkim te znajdujące się w skórze stopy poduszki), układ przedsionkowy i proprioceptory. Odebrane bodźce przekazywane są do ośrodkowego układu nerwowego (mózg, mózdzek, pień mózgu), gdzie są przetwarzane. Następnie stosowne sygnały przekazywane są do mięśni, które kurcząc się lub rozkurczając prowadzą do stabilizacji postawy (Carini i in., 2017; Mancini i in., 2020; Peterka, 2002).

Czuciowe informacje wejściowe dostarczane są przez układ somatosensoryczny, który obejmuje eksteroceptory i proprioceptory, oraz przez układ przedsionkowy i wzrokowy. Sygnał somatosensoryczny jest generowany przez narządy zmysłów zlokalizowane na różnych poziomach:

- 1) Poziom mięśniowy: informacja dostarczana przez mięśnie (wrażliwe na zmiany długości wrzeciona mięśniowe) i narządy ściegniste Golgiego (wrażliwe na zmiany napięcia mięśni). Wahania postawy powodują lekkie napięcie mięśni, a następnie aktywację i reakcję wrzecion mięśniowych. Informacje proprioceptywne mięśni są szczególnie dokładne i różnicujące. Są one dodatkowo uzupełniane o sygnały z receptorów stawowych.
- 2) Poziom wzrokowo-okomotoryczny: siatkówka przekazuje informacje związane z ruchem w polu widzenia i wykrywa orientację głowy zgodnie z postrzeganym widzeniem.
- 3) Poziom przedsionkowy: w kontroli postawy nie uczestniczy cały układ przedsionkowy. Kanały półkoliste w rzeczywistości nie pełnią istotnej roli w kontroli postawy w pozycji stojącej, ponieważ próg ich percepcji jest zbyt niski dla udziału w regulacji stabilności posturalnej. Receptorami przedsionkowymi zaangażowanymi w ten proces są przede wszystkim komórki czuciowe wrażliwe na przemieszczenia otolitów, które przekazują informacje dotyczące przyspieszenia i odchylenia głowy oraz odgrywają rolę w kontrolowaniu wahań postawy.
- 4) Poziom skórny: wykrywa zmiany ustawień stopy związane z powierzchnią podparcia za pomocą receptorów skórnych, zlokalizowanych przede wszystkim na poziomie stopy (Carini i in., 2017; Diener & Dichgans, 1988; Hwang i in., 2016).

Sygnał wyjściowy jest reprezentowany przez mięśnie. Proces ten jest modulowany i koordynowany na poziomie centralnego układu nerwowego, skąd przez motoneurony sygnały słane są do ekstrakuczalnych i intrakuczalnych włókien mięśniowych poprzecznie prążkowanych. Ośrodkowy układ nerwowy staje się zatem odpowiedzialny za utrzymywanie niewielkiego napięcia mięśni posturalnych, co zapobiega biernej modyfikacji ustawienia poszczególnych części ciała, dzięki czemu utrzymywane są one we właściwej pozycji (Carini i in., 2017; Peterka, 2002).

Jak wspomniano, układ wzrokowy jest jednym z „odbiorników” informacji sensorycznych służącym do utrzymania stabilności posturalnej, która jest pozytywnie skorelowana z jakością i adekwatnością odbieranych bodźców wzrokowych (Alcock i in., 2018; Ivanenko & Gurfinkel, 2018). Układ przedsionkowy słabo wykrywa bardzo powolne ruchy obrotowe przy prędkościach $<0,1$ Hz dlatego układ wzrokowy często kompensuje dysfunkcję tego układu (Kanase & Thakkar, 2022). Istnieją dwa funkcjonalne typy ruchów gałek ocznych: te, które stabilizują oko, gdy głowa się porusza lub wydaje się poruszać (stabilizacja spojrzenia)

oraz te, które utrzymują obraz obserwowanego obiektu skupiony na dołku siatkówki oka, gdy obiekt zmienia się lub porusza. Podczas ruchu głowy stabilizację wzroku zapewniają odruch przedsionkowo-oczny i odruch optokinetyczny, dzięki którym możliwe jest prawidłowe ustawienie osi optycznych oczu w sytuacji obracania głowy lub całego ciała. W kontroli postawy istotna jest możliwość płynnego śledzenia ruchu obiektów w środowisku zewnętrznym. Zapewnia to sprzężenie ruchu gałek ocznych, tak aby poruszały się w tym samym kierunku wyznaczonym przez przemieszczający się obiekt. Ponadto znaczenie mają takie mechanizmy jak akomodacja i wergencja oczu (odpowiednio zmiana ostrości oraz zmiana kąta ustawienia osi optycznych gałek ocznych w celu dostosowania do zmian odległości od obserwowanego celu), jak również ruchy sakkadowe (skokowe ruchy gałek ocznych wykorzystywane do umiejscowienia obrazu na siatkówce) (Cheung & Schmuckler, 2021; Pritcher i in., 2008; Schubert i in., 2002). Precyzyjne i obszerne informacje o środowisku zewnętrznym w postaci impulsów wzrokowych kierowane są z fotoreceptorów siatkówki poprzez nerw wzrokowy do kory potylicznej (Sadowski & Lewin-Kowalik, 2019).

W ścisłym funkcjonalnym związku z układem wzrokowym pozostaje układ przedsionkowy, który nazywany jest także zmysłem równowagi. Dzięki swym mechanoreceptorom dostarcza on informacji o położeniu głowy oraz jej pozycji względem działania siły ciężkości. Wykrywa również zmiany przyspieszenia liniowego, jak i ruch w kierunku pionowym. Umożliwia tym samym kontrolę i regulację pozycji ciała w przestrzeni zarówno w sytuacjach statycznych jak i dynamicznych (Karmali i in., 2021; Khan & Chang, 2013). Receptory układu przedsionkowego we współpracy z proprioceptorami mięśni szyi i kręgosłupa są istotną częścią odruchów mających znaczenie dla stabilności posturalnej. Wśród nich wymienia się odruch przedsionkowo-oczny (VOR – ang. *vestibulo-ocular reflex*), odruch przedsionkowo-rdzeniowy (VSR – ang. *vestibulospinal reflex*) i odruch szyjny (CCR – ang. *cervicocollic reflex*). Są to odruchy stabilizujące głowę w przestrzeni i tym samym zapewniają stabilizację wzroku (VOR), oraz stabilizujące głowę względem ciała dostarczając informacji o ustawieniu głowy względem pozostałych jego części (CCR). Rolą odruchu VSR jest przeciwdziałanie sile grawitacji i pobudzanie reakcji mięśniowych pozwalających zachować stabilność w sytuacjach statycznych i dynamicznych (Goldberg & Peterson, 1986; Keshner i in., 2024; Wilson & Schor, 1999).

Trzeci z układów tworzony jest przez zespół proprioceptorów dostarczających informacji o ustawieniu i położeniu względem siebie różnych części ciała (głowy, kończyn, tułowia) oraz informacji o ruchu całego organizmu. Odbierane są bodźce powstające w wyniku rozciągania, ucisku i przemieszczania się względem innych części ciała. Integracja tych bodźców i ich właściwe przetwarzania w OUN jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania aparatu ruchu (planowanie i wykonywanie ruchu, regulowanie napięcia mięśni), ale również do tworzenia tak zwanego obrazu własnego ciała niezbędnego do właściwego reagowania na zmiany w środowisku zewnętrznym (Alcock i in., 2018; Armstrong i in., 2008; Nashner i in., 1989). Pod względem lokalizacji mechanoreceptory tego systemu można zaklasyfikować do trzech grup: receptory mięśniowe, receptory stawowe i receptory skórne. Receptory mięśniowe to wymieniane wcześniej wrzeciona mięśniowe i narządy ścięgniste Golgiego. W skład wrzecion mięśniowych, obok włókien intrafuzalnych, wchodzi również aksony neuronów ruchowych (motoneurony gamma) i czuciowych. Neurony aferentne mają stosunkowo niski próg pobudliwości, adaptują się powoli oraz informują o stopniu rozciągnięcia mięśnia, a więc pośrednio o pozycji stawu podczas ruchu i zakresie tego ruchu. Narządy ścięgniste Golgiego z kolei, mają wysoki próg pobudliwości, a ich aktywność ma miejsce tylko podczas dynamicznych zmian w obrębie stawu. Ich wysoki próg pobudliwości oraz umiejscowienie (zlokalizowane są w ścięgnach, przejściach ścięgnisto-mięśniowych i wśród włókien ekstrafuzalnych) pozwala im rejestrować skrajne zakresy ruchu fizjologicznego. Pełnią one także rolę ochronną przed nadmiernym rozciągnięciem mięśnia. Do receptorów stawowych zalicza się ciała Ruffiniego (sygnalizują ułożenie stawu, amplitudę i prędkość ruchu w stawie oraz zmiany ciśnienia wewnątrzstawowego), ciała końcowe Paciniego (reagują na zmiany przyspieszenia w stawie, są aktywne tylko w czasie ruchu) i wolne zakończenia nerwowe (aktywowane są bodźcami bólowymi). Receptory skórne dopełniają układ zbierania informacji o położeniu ciała o sygnały o zmianie punktu podparcia, o nierówności podłoża, czy o dotknięciu przeszkody lub podłoża określoną częścią ciała (Edin & Johansson, 1995; Sadowski & Lewin-Kowalik, 2019; Zimny & Wink, 1991).

Współdziałanie wszystkich trzech systemów, tj. wzrokowego, przedsionkowego i proprioceptywnego określane mianem integracji sensorycznej, daje pełny obraz położenia ciała w przestrzeni, zapewniając jednocześnie możliwość kontroli i regulacji postawy ciała i jej stabilności. Jeśli choć jeden z tych systemów nie działa tak, jak powinien, może mieć to wpływ

na stabilność posturalną (Alhelal i in., 2023). Gdy problem dotyczy tylko jednego, pozostałe dwa będą mogły kompensować ten brak, choć wymaga to czasu na „naukę” i kalibrację całego systemu kontroli postawy. Jeżeli dojdzie do zaburzeń w obrębie OUN i więcej niż jeden system sensoryczny nie będzie działał właściwie, kontrola postawy będzie poważnie zakłócona. Potwierdza to np. obserwacja osób po wstrząśnieniu mózgu, które stojąc w pozycji pionowej silniej reagowały na bodźce wzrokowe i przedsionkowe niż osoby bez przebytego wstrząśnienia, przy czym nie stwierdzono zmian w jakości informacji zwrotnej ze strony systemu somatosensorycznego (Caccese i in., 2021). Sytuacja, kiedy w odpowiedzi na zmiany w środowisku zewnętrznym lub zaburzenia o różnym charakterze dochodzi do przemodelowania udziału poszczególnych układów sensorycznych w procesie kontroli postawy określana jest w języku angielskim terminem „sensory reweighting” (Asländer & Peterka, 2014; Cheung & Schmuckler, 2021; Feller i in., 2019).

Mechanizmy nerwowe odpowiedzialne za stabilność posturalną polegające na przetwarzaniu informacji sensorycznych realizowane są na różnych poziomach OUN. Podstawowa droga zmysłu równowagi tworzona jest przez neurony dwubiegunowe zwoju przedsionkowego, których aksony przebiegają przez pola przedsionkowe górne i dolne zlokalizowane w dnie przewodu słuchowego wewnętrznego, tworząc nerw przedsionkowy. Łączy się on następnie z nerwem ślimakowym, w wyniku czego powstaje nerw VIII – przedsionkowo-ślimakowy. Jego włókna kończą się w jądrach przedsionkowych leżących w kącie bocznym dna komory czwartej. Kolejne neurony biegną z jądra przedsionkowego bocznego tworząc drogę przedsionkowo-rdzeniową boczną w sznurach przednich rdzenia kręgowego. Z jąder przedsionkowych (górnego, przyśrodkowego i dolnego) włókna dochodzą do mózdzku oraz nerwów ruchowych III, V i IV poprzez pęczek podłużny przyśrodkowy. Z jąder przedsionkowych (przyśrodkowego i dolnego) włókna zstępują jako droga przedsionkowo-rdzeniowa przyśrodkowa w sznurze przednim rdzenia kręgowego (Ignasiak, 2022; Sadowski & Lewin-Kowalik, 2019).

Prawidłowe funkcjonowanie układu ruchu zależy więc od czynności ośrodków nerwowych zlokalizowanych w obrębie rdzenia kręgowego i pnia mózgu, ale również jąder podkorowych, kory mózgowej, mózdzku i jąder podstawy. Wszystkie te struktury zaangażowane są w różne aspekty sterowania układem ruchu w procesie zapewnienia stabilności posturalnej (tab. 4). Rdzeń kręgowy wpływa na odpowiednią koordynację skurczów

mięśniowych wyzwalanych na szybkiej drodze odruchowej. Pień mózgu i jądra podkorowe odpowiedzialne są za złożone ruchy mimowolne (postawne i lokomocyjne). W korze mózgowej, mózdzku i jądrach podstawy zachodzą wybory odpowiedniej strategii (wzorca ruchowego) ruchów dowolnych (manipulacyjnych, postawnych i lokomocyjnych) (Prochazka, 2011; Sadowski & Lewin-Kowalik, 2019).

To wielopoziomowe współdziałanie, możliwe dzięki wstępującym i zstępującym drogom nerwowym zapewniającym dopływ informacji sensorycznych z jednej strony i przekazywanie sygnałów eferentnych z drugiej, pozwala utrzymywać pionową postawę człowieka poprzez odpowiednio skoordynowane napinanie i rozluźnianie mięśni posturalnych adekwatne do aktualnej sytuacji.

Tab. 4. Elementy układu nerwowego zaangażowane w regulację stabilności posturalnej

Właściwości układu	Układ motoryczny		
	odruchowy	automatyczny	zależny od woli
Drogi nerwowe	rdzeń	pień mózgu	kora mózgowa
Aktywacja	czynniki zewnętrzne	czynniki zewnętrzne	czynniki zewnętrzne autogenerowane
Odpowiedź	miejscowa (w punkcie stymulacji) i stereotypowa	skoordynowana i stereotypowa	nieograniczona zmienność
Rola w równowadze	regulacja siły mięśniowej	wytrzymałość na zaburzenia	ruchy dowolne
Okres utajenia zapisany na poziomie kończyn dolnych	stały 35-45 ms	stały, okres utajenia średni (średnia 95 ms) lub długi (średnia 120 ms)	zmienny (powyżej 150 ms)

(źródło: Żak & Soucard, 2014)

Mechanizmy mięśniowe korygujące nieustannie postawę ciała mogą mieć charakter antycypowany lub reaktywny. W przypadku wykonywania wyuczonych działań ruchowych, np. uniesienia kończyny górnej, pojawia się tak zwane sprzężenie wyprzedzające (ang. *feedforward*), które jest efektem oczekiwania na pojawienie się zaburzeń posturalnych i wcześniejszego uruchomienia reakcji mięśniowych zapewniających utrzymanie stabilności, jeszcze przed wykonaniem ruchu. W przypadku nieprzewidzianych reakcji na zaburzenia posturalne, mają one charakter sprzężenia zwrotnego (ang. *feedback*) polegającego np. na napinaniu mięśni posturalnych po przeciwnej stronie ciała w stosunku do pojawiającego się wychylenia (Hay & Redon, 2001; Krishnamoorthy & Latash, 2005).

Udział kory mózgowej warunkujący antycypacyjny charakter reakcji posturalnych, a także złożoność mechanizmów regulujących stabilność posturalną wskazują, że nie jest ona wyłącznie sumą reakcji odruchowych na poziomie rdzenia i pnia mózgu, a raczej złożoną zdolnością motoryczną (Horak, 2006; Ivanenko & Gurfinkel, 2018).

1.3.2. Metody oceny stabilności posturalnej

Do obiektywnej oceny stabilności posturalnej stosuje się różne techniki i metody, za pomocą których uzyskuje się różne dane ilościowe i jakościowe. Są one najczęściej dobierane przez badaczy pod względem ocenianego komponentu funkcji postawy zgodnie z założeniami protokołu badawczego. W zależności od tych założeń testy są niekiedy uzupełniane o sztucznie wywołane zakłócenia, jak zaburzenia posturalne, manipulacje sensoryczne, czy zaburzenia poznawcze. Protokoły badawcze poza wymienionymi kwestiami różnią się również pod względem czasu trwania badania, liczby prób i powtórzeń, przebiegu analizy uzyskanych wyników i w końcu ich interpretacji (Nagymáté i in., 2018; Paillard & Noé, 2015).

Pomiary stabilności posturalnej, jak wspomniano, mogą mieć charakter ilościowy lub jakościowy. Metody ilościowe opierają się najczęściej na pomiarach przemieszczeń środka ciężkości (COG) lub środka nacisku powierzchni podparcia (COP – ang. *centre of pressure*), ale także na ocenie aktywności elektromiograficznej oraz określeniu udziału i znaczenia różnych źródeł informacji sensorycznych. Podejście jakościowe polega na opisanu organizacji kontroli postawy

w odniesieniu do aspektów biomechanicznych i neurofizjologicznych (Paillard & Noé, 2015). Ocena stabilności posturalnej może dotyczyć z jednej strony jej efektywności w różnorodnych warunkach, od statycznej postawy obunóż po różnego rodzaju dynamiczne sytuacje, jak również przyjmowanej strategii utrzymania równowagi (analizowanej w odniesieniu do określonych mechanizmów sensomotorycznych) (Nagyimáté i in., 2018; Paillard & Noé, 2015).

Do oceny stabilności posturalnej wykorzystuje się najczęściej wysokospecjalistyczny sprzęt pomiarowy. Istnieją jednak testy, za pomocą których można w sposób zgrubny opisać zdolności badanych do utrzymania określonej postawy ciała w warunkach statycznych i dynamicznych. Część z tych testów przydatna bywa do oceny stabilności osób starszych i chorych. Do najpopularniejszych należą skala równowagi Berg (K. Berg i in., 1989; K. O. Berg i in., 1992), mini BESTest (ang. *mini balance evaluation systems test*) (Franchignoni i in., 2010), test „Wstań i idź” (ang. *timed up and go*) (Mathias i in., 1986; Podsiadlo & Richardson, 1991), test Tinettiego (Tinetti i in., 1994), Ujednoliconą Skala Równowagi (ang. *unified balance scale*) (La Porta i in., 2011).

Wśród urządzeń wykorzystywanych do kinetycznej analizy stabilności posturalnej istotne miejsce zajmują platformy stabilometryczne. Są one zaopatrzone w czujniki tensometryczne w różnej liczbie i zagęszczeniu. Czujniki te przesyłają do komputera dane dotyczące zmiany położenia COP, czyli pionowego rzutu COG (Błaszczuk, 2004). Nawet w wyprostowanej pozycji pionowej obserwuje się nieustanną oscylację COP (D. Winter, 1995), co jest przedmiotem pomiaru realizowanego z wykorzystaniem siłowych platform stabilometrycznych. Istnieją zarówno platformy statyczne, jak i ruchome, które dokonują pomiarów w sytuacjach dynamicznych. Wiele zaawansowanych urządzeń może wywoływać cykliczne lub nagłe ruchy w kierunku przyśrodkowo-bocznym, przednio-tylnym oraz ruchy obrotowe we wszystkich kierunkach lub w określonej płaszczyźnie (Paillard & Noé, 2015). W celu szczegółowej analizy mechanizmów stabilności posturalnej w płaszczyźnie czołowej pomiar sił reakcji podłoża realizuje się niekiedy oddzielnie dla każdej stopy (Bonnet i in., 2014), zwłaszcza jeśli podejrzewa się asymetrię rozkładu masy ciała, jak np. u pacjentów z niedowładem połowicznym lub po amputacji (Rougier, 2007). Do tego typu analiz służą platformy dwupłytkowe. Niektóre z nich umożliwiają również oddzielną analizę ruchów COP na pięcie i śródstopiu pod każdą stopą (Paillard & Noé, 2015).

Spośród urządzeń kinetycznych platformy siłowe uważane są za złoty standard (Huurnink i in., 2013), przy czym przemieszczanie COP jest najczęściej mierzonym parametrem, na podstawie którego można obliczyć różne zmienne w celu oceny funkcji postawy (Duarte & Freitas, 2010). Z surowych danych dotyczących przemieszczenia COP można uzyskać statokinezyogram (dwuwymiarowy zapis drogi pokonywanej przez COP w płaszczyźnie poziomej) i stabilogram (pokazujący zmienność położenia COP w czasie). Obliczenie innych zmiennych COP na podstawie uzyskanych danych jest konieczne w celu analizy mechanizmów związanych z regulacją postawy. Do zmiennych powszechnie uważanych za najbardziej miarodajne w kontekście analiz posturograficznych zalicza się szereg parametrów opisujących przemieszczenia COP w czasie, w tym całkowita długość drogi, średnia prędkość, zakresy i powierzchnia przemieszczeń (uważa się, że im niższe wartości tych parametrów tym stabilność posturalna jest lepsza). Lista analizowanych zmiennych przez różnych badaczy jest długa, co jest związane z nieustającym poszukiwaniem najbardziej wiarygodnych parametrów oceny stabilności posturalnej (Baratto i in., 2002; Paillard & Noé, 2015; Stemplewski, 2013).

Poza urządzeniami kinetycznymi do analizy stabilności posturalnej wykorzystuje się urządzenia kinematyczne. Pozwalają one analizować ruch w funkcji czasu, nie zajmując się szczegółowym badaniem działających sił. Stosuje się tu dwie różne technologie polegające na filmowej rejestracji badanego podczas pomiaru. Pierwsza z nich wykorzystuje pasywne systemy odblaskowych znaczników w połączeniu z zestawem szybkich kamer o wysokiej rozdzielczości i wbudowanymi lampami błyskowymi generujące światło podczerwone. Kamery rejestrują odbicie od znaczników umieszczonych na określonych punktach anatomicznych, których identyfikacja odbywa się dzięki oprogramowaniu komputerowemu. Z kolei aktywne systemy znaczników wykorzystują zasilane znaczniki wysyłające sygnał w podczerwieni, który jest przechwytywany przez czujniki. Każdy aktywny znacznik ma swoją własną częstotliwość. Pozwala to uniknąć końcowego przetwarzania wymaganego w przypadku markerów pasywnych (Paillard & Noé, 2015).

W ostatnich latach zasugerowano również zastosowanie noszonych przez badanych na ciele akcelerometrów 3D, jako alternatywy dla platform siłowych do pomiaru wahań postawy. Akcelerometry można umieścić na tylnej części tułowia, aby oszacować ruchy COG lub na konkretnych stawach, aby ocenić ruchy stawów oraz ruchy COG dzięki późniejszemu

modelowaniu i obliczeniach. Urządzenia oparte na akcelerometrach stanowią czuły sposób pomiaru subtelnych deficytów równowagi w warunkach klinicznych (Mancini i in., 2012; Najafi i in., 2010). Wysoki poziom dokładności mogą zapewnić również czujniki laserowe, które można wykorzystać do wiarygodnej oceny przemieszczeń COG (Aramaki i in., 2001; Masani i in., 2014).

2. Cel badań i hipotezy badawcze

Utrzymanie stabilności postawy i unikanie upadków jest niezbędnym wymogiem w codziennym życiu człowieka. Stabilność posturalna wymaga precyzyjnej koordynacji układów ruchowego, wzrokowego, proprioceptywnego i przedsionkowego. Osoby ze słabą stabilnością posturalną mogą wydawać się zrównoważone w warunkach statycznych, ale nawet niewielkie zaburzenia dynamiczne mogą ujawnić podstawowe deficyty sensomotorycznej kontroli postawy (Godzik i in., 2020). Wady postawy związane z deformacją ciała mogą negatywnie wpływać na sensomotoryczną kontrolę postawy i zmniejszać stabilność posturalną. Dotychczas badano wpływ innych zaburzeń postawy niż klatka piersiowa lejkowata na stabilność posturalną. W tym kontekście analizowano na przykład skoliozę. Obserwacje wskazują na zmniejszoną stabilność posturalną u badanych ze skoliozą w porównaniu do osób bez zaburzeń postawy (przegląd badań – Dufvenberg i in., 2018). Dotychczas problem ten nie był analizowany w odniesieniu do osób z klatką piersiową lejkowatą. Brak jest w piśmiennictwie światowym jakichkolwiek doniesień na ten temat. W szczególności brak jest informacji o znaczeniu zabiegu chirurgicznego dla zmian w zakresie stabilności posturalnej pacjentów poddanych korekcji klatki piersiowej lejkowatej. Problem ten wydaje się szczególnie interesujący w kontekście zmiany kształtu przedniej ściany klatki piersiowej w wyniku chirurgicznej korekcji klatki piersiowej lejkowatej, jak również z uwagi na pojawienie się metalowych płytek w klatce piersiowej umieszczanych tam podczas zabiegu. Nie wiadomo również jakie jest znaczenie samej wady dla stabilności posturalnej, bowiem brak jest porównań w tym zakresie pomiędzy osobami dotkniętymi deformacją przedniej ściany klatki piersiowej a osobami zdrowymi. W związku z tym podjęto badania eksperymentalne, których głównym celem było określenie wpływu interwencji chirurgicznej

w postaci zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa na stabilność posturalną oraz stan funkcjonalny mięśni i symetrię tułowia pacjentów. Celem dodatkowym przeprowadzonych badań było porównanie pod względem stabilności posturalnej, a także stanu funkcjonalnego mięśni i symetrii tułowia, osób z klatką piersiową lejkowatą z osobami zdrowymi bez wad postawy.

Sformułowano następujące szczegółowe pytania badawcze:

1. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na stabilność posturalną pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
2. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na stan funkcjonalny mięśni szkieletowych pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
3. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na symetrię tułowia pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
4. Jaka jest różnica pod względem stabilności posturalnej pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?
5. Jaka jest różnica pod względem stanu funkcjonalnego mięśni pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?
6. Jaka jest różnica pod względem symetrii tułowia pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?

Na podstawie przeglądu piśmiennictwa z zakresu zaburzeń budowy ciała postawiono hipotezy badawcze dotyczące z jednej strony wpływu zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej lejkowatej na stan wybranych parametrów stabilności posturalnej, stanu funkcjonalnego mięśni i symetrii tułowia u poddawanych temu zabiegowi pacjentów (hipotezy 1-3). Z drugiej strony, sformułowano hipotezy dotyczą różnic w zakresie wyżej wymienionych parametrów pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą i osobami zdrowymi bez wad postawy (hipotezy 4-6).

Postawiono następujące hipotezy badawcze:

1. Zabieg operacyjny korekcji klatki piersiowej lejkowatej przeprowadzony metodą Nussa ma negatywny wpływ na stabilność posturalną pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej.

2. Zabieg operacyjny korekcji klatki piersiowej lejkowatej przeprowadzony metodą Nussa ma pozytywny wpływ na stan funkcjonalny mięśni szkieletowych pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej.
3. Zabieg operacyjny korekcji klatki piersiowej lejkowatej przeprowadzony metodą Nussa ma pozytywny wpływ na symetrię tułowia pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej.
4. Osoby z klatką piersiową lejkowatą charakteryzują się słabszą stabilnością posturalną niż osoby zdrowe bez wad postawy.
5. Osoby z klatką piersiową lejkowatą charakteryzują się gorszym stanem funkcjonalnym mięśni szkieletowych niż osoby zdrowe bez wad postawy.
6. Osoby z klatką piersiową lejkowatą charakteryzują się większą asymetrią tułowia niż osoby zdrowe bez wad postawy.

3. Materiał i metody

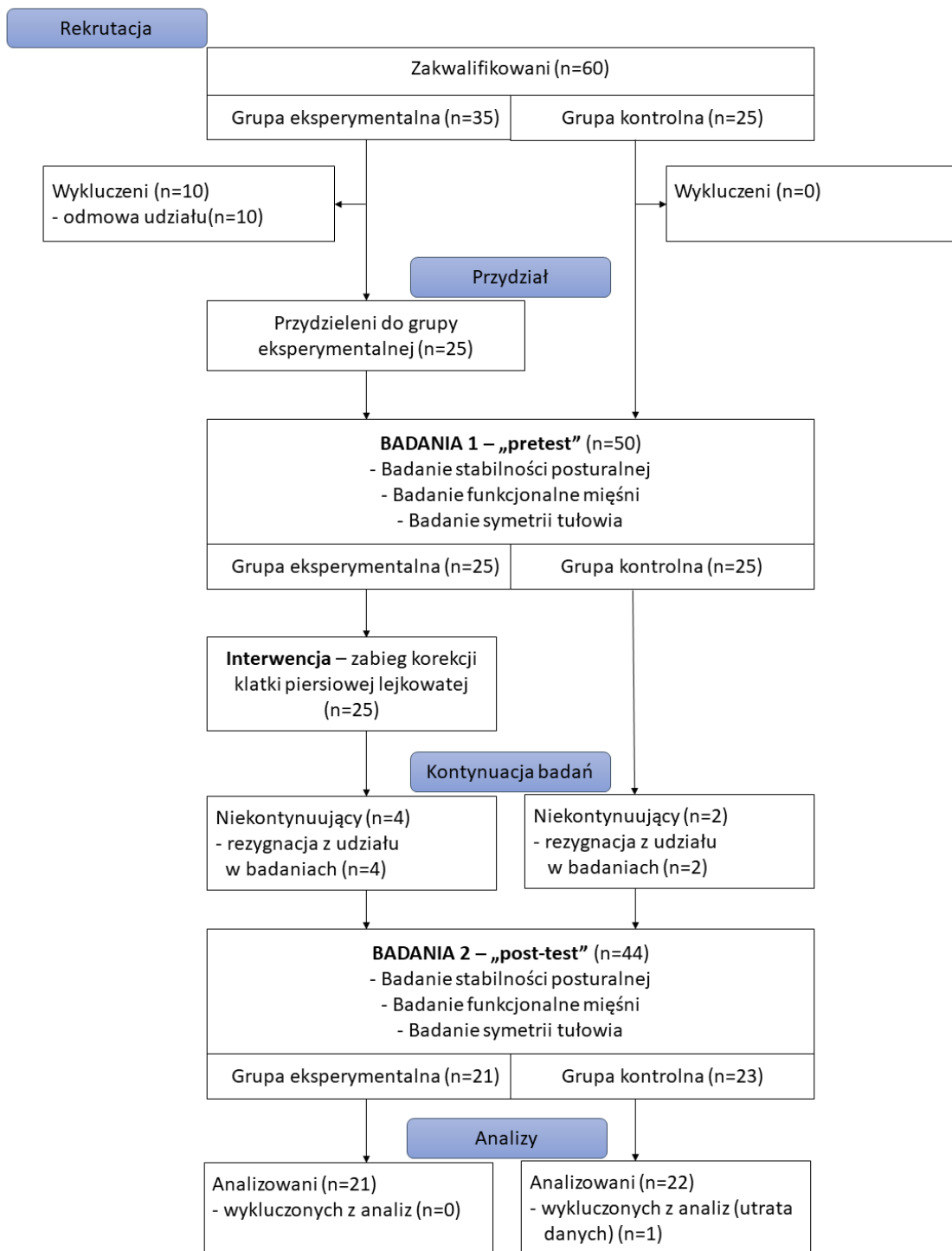
Badania zostały zaplanowane i przeprowadzone w tak zwanym modelu pre-test i post-test w celu ustalenia wpływu zmiennej niezależnej – interwencji w postaci zabiegu korekcji wady klatki piersiowej lejkowatej na zmienną zależną, to jest stabilność posturalną młodych mężczyzn. Wzięto również pod uwagę dodatkowe zmienne wyjaśniające w postaci stanu funkcjonalnego mięśni i symetrii tułowia w płaszczyźnie czołowej u badanych osób. Lekarskie badania kwalifikacyjne oraz zabieg chirurgiczny metodą Nussa wykonywane były w Wielkopolskim Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii w Poznaniu. Pozostałe badania i pomiary, zarówno osób z grupy eksperymentalnej, jak i kontrolnej, wykonywane były w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Badania wykonywano dwukrotnie – przed zabiegiem chirurgicznym (pre-test) i trzy miesiące po zabiegu (post-test). Członków grupy kontrolnej również badano dwukrotnie. Przed przystąpieniem do badań wszystkim uczestnikom przedstawiono informację dotyczącą programu badawczego oraz uzyskano od nich pisemną zgodę na udział w badaniach, która w przypadku nieletnich podejmowana była przez prawnych opiekunów (wzory dokumentów w aneksie). Badania realizowane były w zgodzie z Deklaracją Helsińską („World Medical Association Declaration of Helsinki”, 2013), a na ich przeprowadzenie uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Radzie Lekarskiej Wielkopolskiej Izby Lekarskiej (kopia decyzji w aneksie).

3.1. Uczestnicy badań

Badanych do grupy eksperymentalnej rekrutowano spośród pacjentów płci męskiej z rozpoznaną wadą klatki piersiowej lejkowatej, zakwalifikowanych do zabiegu operacyjnego korekty tej wady metodą Nussa w Wielkopolskim Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii w Poznaniu. Kryteriami włączenia do badań były: wiek ≥ 14 lat, brak zaburzeń neurologicznych oraz zgoda na zabieg operacyjny. Współistnienie innych wad przedniej ściany klatki piersiowej oraz obecność anomalii narządu ruchu (np. zespół Marfana, choroby tkanki łącznej) uznawano za czynnik wykluczający z udziału w badaniach. Do badań zakwalifikowano łącznie 35 pacjentów spełniających powyższe kryteria. Na początkowym etapie z udziału w badaniach

zrezygnowało 10 osób, a kolejne 4 nie poddały się drugiej serii pomiarów wykonywanych 3 miesiące po zabiegu korekcji klatki piersiowej (ryc. 1). Ostatecznie grupę eksperymentalną stanowiło 21 pacjentów (średnia wieku $16,7 \pm 1,15$ lat, tab. 4) w stosunku do których zrealizowano kompletny protokół badawczy obejmujący dwukrotne testowanie wybranych parametrów.

Do grupy kontrolnej natomiast zakwalifikowano 25 zdrowych chłopców bez klatki piersiowej lejkowatej oraz innych wykrytych wad postawy lub zaburzeń budowy ciała, spełniających pozostałe kryteria jak dla uczestników grupy eksperymentalnej. Liczebność grupy dobrano tak, aby możliwie najlepiej odpowiadała liczności grupy eksperymentalnej. Przed drugą serią badań zrezygnowało 2 uczestników pierwotnej grupy kontrolnej, a z powodu utraty części danych wyeliminowano z tej grupy 1 osobę. Finalnie grupę kontrolną stanowiły 22 osoby (średnia wieku $17,16 \pm 1,38$, tab. 4), które podobnie jak w grupie eksperymentalnej zostały dwukrotnie zbadane.



Ryc. 1. Schemat przebiegu badań uwzględniający liczebność uczestników na poszczególnych etapach

3.2. Pomiary wstępne – charakterystyki somatyczne

Od każdego uczestnika badań, zarówno z grupy eksperymentalnej jak i kontrolnej, pozyskano informacje dotyczące wieku kalendarzowego (data urodzenia). Wiek badanych wyliczany był w arkuszu kalkulacyjnym na dzień prowadzenia pierwszych pomiarów.

Wysokość ciała (*basis – vertex*, głowa ustawiona w płaszczyźnie frankfurckiej) mierzono z dokładnością do 1 cm za pomocą antropometru. Masę ciała mierzono z dokładnością do 0,1 kg za pomocą wagi lekarskiej. Na podstawie wysokości i masy ciała wyliczano wskaźnik masy ciała – BMI (ang. *Body Mass Index*) według wzoru (Biavati i in., 2020):

$$BMI = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{(\text{wysokość ciała [m]})^2}$$

3.3. Zabieg operacyjny metodą Nussa

Pacjenci z grupy eksperymentalnej poddawani byli zabiegowi korekcji przedniej ściany klatki piersiowej metodą Nussa (Nuss i in., 1998; Nuss & Kelly, 2008). Polega ona na umieszczeniu pod mostkiem implantów w postaci odpowiednio wyprofilowanych płytek stalowych (BBH Mikromed, Polska) poprzez dwa boczne, symetryczne nacięcia w ścianie klatki piersiowej. Resekcja chrząstki nie jest wykonywana, a metalowe płytki przez większość czasu pozostają w klatce piersiowej wypychając wklęsłość. Płytki pozostawia się w ciele na okres 2 do 3 lat (Hebra i in., 2016). Zabieg wykonywany był w znieczuleniu ogólnym w warunkach szpitalnych. Zespołem wykonującym zabieg kierował prof. UM dr hab. Krystian Pawlak. Szczegółowy opis metody (Pawlak i in., 2016) umieszczono w podrozdziale 1.2.1.2. Metody leczenia klatki piersiowej lejkowatej.

3.4. Pomiary stabilności posturalnej

Stabilność posturalną jako główną zmienną zależną badano z wykorzystaniem metody posturograficznej opartej o pomiary przemieszczeń centrum nacisku – COP. Wykorzystano

w tym celu dwupłytkową platformę stabilometryczną CQStab2P (CQ Electronic System, Poland) (ryc. 2), która podczas badania pozostawała podłączona do komputera z zainstalowanym oprogramowaniem dostarczonym przez tego samego producenta. Na podstawie mierzonych przez tensometry umieszczone w platformie zmian sił reakcji podłoża oprogramowanie ustalało położenie i przemieszczenia COP badanej osoby, co pozwalało na wygenerowanie statokinezyjogramu i stabilogramu. Statokinezyjogram ukazuje ruch COP w układzie współrzędnych, w którym oś X odnosi się do wychwiał w płaszczyźnie czołowej, tj. w prawo i w lewo (ML – *medio-lateral*), oś Y do wychwiał w płaszczyźnie strzałkowej, tj. w przód i w tył (AP – *anterior-posterior*). Punkt 0,0 takiego układu współrzędnych jest geometrycznym środkiem ciężkości trajektorii COP. Stabilogram natomiast przedstawia położenie COP jako funkcję czasu. Osobno rozpatrywany jest ruch w kierunku ML, a osobno w kierunku AP. Podczas zbierania danych zastosowano częstotliwość próbkowania 200 Hz. Zgodnie z deklaracją producenta dokładność przetwarzania wynosi 0,1% (przetwarzanie 12-bitowe, efektywne 10-bitowe) podczas odtwarzania statokinezyjogramu z dokładnością do 1 mm przy wahaniach o promieniu 10 cm (Stemplewski i in., 2012; dane dostarczone przez producenta platformy CQ Electronic System, Poland).

3.4.1. Przebieg procedury pomiarowej

W pomieszczeniu laboratorium podczas badania posturograficznego przebywała jedynie osoba badana oraz wykonująca badanie. Przed rozpoczęciem pomiarów badany pozostawał w spoczynkowej pozycji siedzącej przez 5 minut. Pomiarów stabilności dokonywano w następujących warunkach:

1. W postawie stojącej obunóż z oczami otwartymi
2. W postawie stojącej obunóż z oczami zamkniętymi
3. W postawie stojącej jednonóż na nodze dominującej z oczami otwartymi

Każdy z pomiarów wykonywany był dwukrotnie z 20-sekundową przerwą pomiędzy kolejnymi próbami (łącznie 6 pomiarów), a ich kolejność była losowa, aby uniknąć efektu

uczenia się. Wynikiem końcowym każdej próby była średnia z dwóch pomiarów. Czas trwania pojedynczej próby wynosił każdorazowo 30 sekund.

Badany stawał na płytach platformy na boszo, w pozycji wyprostowanej z ramionami opuszczonymi swobodnie wzdłuż tułowia i instruowany był aby stać nieruchomo. Do prób obunóż stopy ustawione były w naturalnej pozycji, tj. ok. 30° względem siebie (Stemplewski i in., 2012). Podczas próby na jednej nodze badany stawał na środku jednej z płyt platformy (we wszystkich realizowanych pomiarach była to ta sama płyta). Podczas każdego pomiaru badany asekurowany był przez osobę prowadzącą badanie na wypadek utraty równowagi.

3.4.2. Analizowane parametry

Stabilność posturalna analizowana była przez przyzmat wskaźników związanych z prędkością przemieszczania się COP oraz wskaźników rozkładu przestrzennego przemieszczania się COP:

- a) średnia prędkość poruszania się punktu COP w osiach XY (V_{avg}) oraz jej składowe, tj. średnia prędkość poruszania się punktu COP w osi Y (V_{avgAP}) i w osi X (V_{avgML}); wartość tych wskaźników wyliczana jest ze stosunku całkowitej długości ścieżki pokonywanej przez COP w trakcie badania i czasu trwania badania (mm/s). Wzór na długość ścieżki, czyli całkowitą drogę, którą przebył środek nacisku stóp nadanego (COP) w ciągu badania (długość statokinezyjogramu):

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{\left(\frac{\partial COP_{AP}(t)}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial COP_{ML}(t)}{\partial t}\right)^2} dt$$

- b) wielkość pola powierzchni zakreślanego przez COP w mm^2 (SA – z j. angielskiego od *sway area*) w trakcie trwania pomiaru oraz maksymalne wychylenie COP od punktu 0,0 w kierunku osi Y ($MaxAP$) i w kierunku osi X ($MaxML$) wyrażone w mm. Wzór na pole powierzchni zajmowanej przez wykres drogi COP wykreślonej w czasie badania:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{\frac{\partial COP_{AP}(t)}{\partial t} COP_{ML}(t) - \frac{\partial COP_{ML}(t)}{\partial t} COP_{AP}(t)}{2} \right] dt$$

Powyższe wzory pochodzą z materiałów dostarczonych przez producenta platformy (CQ Electronic System, Poland).

W badaniach posturograficznych średnie prędkości, maksymalne przemieszczenie i pole powierzchni określanego przez punkt COP powszechnie stosuje się jako wskaźniki stabilności posturalnej (Nagymáté i in., 2018). Do uzyskania wartości współczynnika korelacji wewnątrzklasowej powyżej 0,9 wystarczające są średnie wyniki z dwóch prób, w szczególności w odniesieniu do wskaźnika średniej prędkości COP (Stemplewski i in., 2011). Wyższe wartości w zakresie prędkości przemieszczeń i rozkładu przestrzennego COP interpretowano jako wskaźnik spadku poziomu stabilności posturalnej (Ołpińska-Lischka i in., 2021; Robillard i in., 2011; Stemplewski i in., 2013, 2023).

3.5. Badanie funkcjonalne mięśni

Badanie długości mięśni przeprowadzono dwukrotnie przed i po zabiegu operacyjnym (ryc. 1). Do przeprowadzenia testów funkcjonalnych wykorzystano pomieszczenie z kozetką, wyposażone również w matę gimnastyczną. U wszystkich badanych z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przeprowadzono testy, dzięki którym oceniono stan funkcjonalny następujących mięśni: grupa mięśni głębokich zginaczy szyi (mięsień mostkowo-sutkowo-obojczykowy oraz mięśnie pochyłe), czworoboczny grzbietu część zstępująca, najszerszy grzbietu, piersiowy większy (część obojczykowa, część mostkowo-żebrowa, część brzuszna), rotatory zewnętrzne i wewnętrzne stawu barkowego, zębaty przedni, biodrowo-lędźwiowy, prosty uda, przywodziciele i odwodziciele uda, mięśnie gruszkowate, grupa mięśni kulszowo-goleniowych, brzuchaty łydki, płaszczkowaty. Oceniono również siłę ekscentryczną mięśni brzucha, wydolność mięśni grzbietu i tułowia oraz symetrię ustawienia miednicy. Badanie długości mięśni wykonywano po obu stronach pionowej linii ciała, by móc porównać zakres ruchu,

stopień napięcia mięśniowego oraz odczucia subiektywne badającego podczas biernego rozciągania (Zembaty, 2002).

Biorąc pod uwagę konieczność przeprowadzenia testów dla mięśni prawej i lewej strony ciała, a także badanie poszczególnych aktonów wybranych mięśni oraz wykonanie testów dodatkowych, u każdego badanego każdorazowo wykonywano łącznie 47 testów.

Badanie grupy mięśni głębokich szyi

Badanie to wykonuje się w celu oceny napięcia mięśniowego mięśni mostkowo-sutkowo-obończykowych. Przebieg testu: badany leży na plecach ze zgiętymi kończynami dolnymi w stawach biodrowych i kolanowych. Przed rozpoczęciem testu, badający kładzie jedną rękę na czole badanego, a drugą ręką unieruchamia jego klatkę piersiową. Badający poleca wykonać badanemu ruch przyciągnięcia podbródka do klatki piersiowej bez unoszenia barków, w tym czasie oporuje dłonią jego czoło. Gdy zachodzi ruch przesuwania głowy do przodu (w górę) oznacza to wzmożone napięcie mięśni mostkowo-sutkowo-obończykowych. Jeżeli badany w przyjętej pozycji przyciągnięcia podbródka do klatki piersiowej nie jest w stanie wytrzymać ponad 30 sekund, wynik testu uznaje się za pozytywny. Taki wynik świadczy o zmniejszonej sile mięśni głębokich zginaczy szyi (Lewit, 2001).

Test długości mięśni pochylonych przeprowadzono w pozycji leżącej osoby badanej. Badający jedną ręką stabilizuje górną część klatki piersiowej, a drugą ręką chwyta głowę w taki sposób, aby wykonać jej wyprost z równoczesną rotacją w stronę przeciwległego barku. Wyczuwalny opór podczas wykonywania biernego ruchu lub brak swobodnego wyprostowania świadczy o pozytywnym wyniku testu (Lewit, 2001).

Badanie długości mięśnia czworobocznego (część zstępująca)

Przebieg testu: badany przyjmuje pozycję siedzącą. Badający stojąc za nim jedną ręką stabilizuje bark po stronie badanej, drugą ręką układa na okolicy skroniowej głowy badanego, powyżej ucha, po tej samej stronie i powoli wykonuje skłon głowy w bok. Jeżeli badający w końcowym zakresie ruchomości biernie uniesie bark badanego po stronie rozciąganego mięśnia, co zwiększy możliwość dalszego ruchu, wówczas wskazuje to na mięśniowe

ograniczenie ruchomości. Jeżeli w powyższym wypadku nie będzie możliwości kontynuowania ruchu – świadczy to o torebkowo-stawowym ograniczeniu ruchomości. Gdy w trakcie biernego rozciągania mięśnia czworobocznego zakres ruchu, stopień napięcia i ewentualne subiektywne odczucia badającego są podobne po obu stronach, uznaje się wynik testu za negatywny. Wynik pozytywny testu świadczy o skróceniu długości mięśnia czworobocznego lub o ograniczeniu ruchomości w stawie barkowym przez obkurczenie torebki stawowej (Zembaty, 2002).

Badanie długości mięśnia najszerzego grzbietu

Przebieg badania: badany wykonuje leżenie tyłem ze zgiętymi kończynami dolnymi w stawach kolanowych i biodrowych, odcinek lędźwiowy kręgosłupa przylega do kozetki, kończyny górne ułożone wzdłuż tułowia. Badany wykonuje zgięcie wyprostowanych w stawach łokciowych kończyn górnych w płaszczyźnie strzałkowej za siebie. Jeżeli nie osiąga 180 stopni zgięcia w stawach ramiennych bez odrywania odcinka lędźwiowego od kozetki wynik testu uznaje się za pozytywny. Taki wynik świadczy o skróceniu długości mięśnia najszerzego grzbietu (Rakowski, 2011).

Badanie długości mięśnia piersiowego większego

Badanie to wykonuje się w celu oceny długości mięśnia piersiowego większego (ocena trzech części mięśnia, tj. obojczykowej, mostkowo-żebrowej i brzusznej) jak i bolesności przyczepów tego mięśnia przy ucisku. Przebieg badania: badany leży tyłem blisko krawędzi kozetki, z ramieniem odwiedzionym pod kątem prostym. Badający szuka palcami włókien mięśnia piersiowego większego w pobliżu obojczyka. Nie powinny być one napięte, pomimo maksymalnego odwiedzenia ramienia. Staw łokciowy badanej kończyny jest cały czas zgięty. Sposób wykonania badania jest identyczny we wszystkich trzech częściach mięśnia piersiowego większego, zmienia się jedynie ustawienie ramienia względem osi długiej ciała, odpowiednio 120, 90 i 45 stopni. Jeżeli nie osiągnano ułożenia stawu łokciowego na równym poziomie co stawu barkowego lub nieznacznie poniżej wynik testu uznawano za pozytywny, co świadczy o skróceniu mięśnia piersiowego większego lub jednej z jego części (Lewit, 2001; Rakowski, 2011).

Badanie rotacji zewnętrznej i wewnętrznej stawu ramiennego (ruch bierny)

Badanie wykonuje się w celu oceny zespołu mięśniowego rotującego zewnętrznie kończynę górną w stawie ramiennym (m. podgrzebieniowy, m. naramienny, m. obły mniejszy, m. trójgłowy ramienia – głowa długa, m. nadgrzebieniowy). Badaniem tym ocenia się również mięśnie rotujące wewnętrznym kończynę górną w stawie ramiennym (m. podłopatkowy, m. piersiowy większy, m. dwugłowy ramienia – głowa długa, m. obły większy, m. najszerzy grzbietu, m. naramienny – część obojczykowa). Przebieg badania: badany na skraju kozetki w leżeniu przodem, testowane ramię kończyny górnej jest odwiedzone w bok do kąta 90 stopni, a przedramię swobodnie opada w dół poza kozetkę. Ramię poprzez oparcie o podłóże jest ustabilizowane. Oś goniometru ustawiona jest na wysokości wyrostka łokciowego kości łokciowej, a skala w górę (w kierunku głowy). Ramiona narzędzia pomiarowego skierowane są w dół, zgodnie z osią długą przedramienia. Badany wykonuje ruch przedramienia ku górze, w kierunku głowy (rotacja zewnętrzna). Przy badaniu rotacji wewnętrznej pozycja wyjściowa i stabilizacja są takie same. Skala goniometru ustawiona jest w dół (w stronę kończyn dolnych). Badany wykonuje ruch przedramienia w dół, a wraz z nim badający przesuwa ramię goniometru i wyznacza zakres ruchomości. Jeżeli dla rotacji zewnętrznej ruch czynny nie osiąga 90 stopni, a ruch bierny 95 stopni wynik jest pozytywny. W przypadku rotacji wewnętrznej jest to odpowiednio 75 stopni dla ruchu czynnego i 85 stopni dla biernego. Wynik pozytywny wskazuje na ograniczoną ruchomość w stawie ramiennym (Zembaty, 2002).

Badanie mięśnia zębatego przedniego

Badanie wykonuje się w celu oceny wydolności mięśnia zębatego przedniego. Przebieg badania: badany przyjmuje pozycję na czworakach – podparty jest na dłoniach i na kolanach, a kończyny górne odwiedzone są w stawach ramiennych. Badany następnie przenosi ciężar ciała na dłonie. Badający poleca badanemu zgięcie stawów łokciowych. Łopatki nie powinny odstawać w momencie zgięcia stawów łokciowych. Wynik pozytywny (odstające łopatki, „skrzydłowate”) świadczy o osłabionej sile mięśni zębatach przednich (Lewit, 2001).

Test Mennella (różnicowanie)

Test ten wykonuje się w celu oceny długości m. biodrowo-lędźwiowego, m. prostego uda, m. napinacza powięzi szerokiej uda, mm. przywodzicieli i odwodzicieli stawu biodrowego. Przebieg badania: badany opiera się na wysokości guzów kulszowych o krawędź kozetki, przyciąga do klatki piersiowej kończynę dolną zgiętą w stawie biodrowym i kolanowym (niebadaną), z pomocą badającego, kładzie się na plecach. Druga kończyna dolna, która jest testowana, opuszczona jest swobodnie w dół poza kozetkę. Jeżeli udo opuszczonej kończyny dolnej znajduje się nie niżej niż w przedłużeniu tułowia (do 5 stopni poniżej poziomu), a staw kolanowy ma tendencję do prostowania wynik testu uznaje się za pozytywny. Kiedy przy biernym zgięciu stawu kolanowego następuje zwiększenie zgięcia stawu biodrowego, wówczas oznacza to skrócenie mięśnia prostego uda. Gdy udo ma tendencje do bocznego ustawienia może to świadczyć o skróconych odwodzicielach. Natomiast, gdy udo ustawia się przysródkowo, wówczas taki wynik może oznaczać skrócenie mięśni przywodzicieli. Test ten może ujawnić hipermobilność stawu biodrowego, czyli nadmierne rozciągnięcie i osłabienie mięśni zginaczy stawu biodrowego (Lewit, 2001; Rakowski, 2011).

Próba Lasegue'a

Badanie to wykonuje się w celu oceny stopnia rozciągnięcia grupy mięśni kulszowo-goleniowych. Może również służyć do ustalenia czy objawy bólowe są spowodowane rwą kulszową czy schorzeniem w stawie biodrowym. Przebieg badania: badany znajduje się w pozycji leżenia tyłem. Badający jedną ręką obejmuje piętę testowanej kończyny dolnej, a drugą chwyta za kolano, tak by staw kolanowy był wyprostowany podczas badania. Następnie unosi kończynę dolną w górę bez współpracy z badanym. Oczekiwany kąt zgięcia w stawie biodrowym to 90 stopni, przy czym zgięciu może towarzyszyć odczucie niewielkiego rozciągania pod stawem kolanowym. Przyczyną braku możliwości osiągnięcia oczekiwanego kąta zgięcia może być skrócenie mięśni odpowiedzialnych za zginanie stawu kolanowego albo/i prostowników stawu biodrowego. W tego typu przypadkach kąt jaki badany może osiągnąć mieści się między 40-80 stopni. Najczęściej ograniczenie zgięcia w stawie biodrowym przy wyprostowanym stawie kolanowym wiąże się z występowaniem dyslordozy lędźwiowej

(niekiedy również hiperlodozy lędźwiowej). Wynik pozytywny oznacza skrócenie grupy mięśni kulszowo-goleniowych (Rakowski, 2011).

Badanie długości mięśnia gruszkowatego (rotacja wewnętrzna biodra).

Przebieg badania: badany przyjmuje pozycję w leżeniu przodem, stawy biodrowe są wyprostowane, a stawy kolanowe zgięte pod kątem prostym. Badany wykonuje rotację wewnętrzną stawów biodrowych przemieszczając podudzia na zewnątrz. Podczas jednej próby za pomocą goniometru dokonywano pomiaru obu stawów w zakresie kąta wyznaczonego między szparą pośladkową a opadającym luźno podudziem. Jeżeli nie osiągnano przedziału kąta między 40-50 stopni wynik testu uznawano za pozytywny, co oznacza skrócenie mięśnia gruszkowatego (Rakowski, 2011).

Badanie elastyczności mięśnia brzuchatego łydki

Przebieg badania: badany staje przodem do ściany i rękoma opiera się o nią, by utrzymać stabilną pozycję ciała. Oceniana kończyna dolna z wyprostowanym stawem kolanowym jest kończyną zakroczną. Pięta przylega do podłoża. Kończyna dolna wykrocza jest lekko zgięta w stawach biodrowym i kolanowym. Przy skróceniu mięśnia brzuchatego łydki obserwuje się mniejsze zgięcie stawu skokowego przy wyprostowanym stawie kolanowym. Jeżeli nie osiągnano przedziału kąta między 40-45 stopni mierzonego między przedłużoną linią stopy a podudziem, wówczas wynik testu uznawano za pozytywny. Wynik pozytywny świadczy o skróceniu mięśnia brzuchatego łydki (Lewit, 2001; Rakowski, 2011).

Badanie mięśnia płaszczkowatego

Mięsień płaszczkowaty ma tendencję do przykurczów i zwiększonego napięcia, co wiąże się z ograniczeniem zgięcia grzbietowego w stawie skokowym. Przebieg badania: badany ze swobodnej pozycji stojącej wykonuje przysiad do pozycji kucznej. Test uznawany jest za pozytywny wówczas, gdy pięta odrywa się od podłoża, co świadczy o skróceniu mięśnia płaszczkowatego (Lewit, 2001).

Badanie wydolności mięśnia prostego brzucha

Badanie wykonuje się do oceny siły mięśniowej mięśnia prostego brzucha podczas pracy ekscentrycznej. Przebieg badania: badany siada na podłożu ze zgiętymi kończynami dolnymi. Kończyny górne skrzyżowane ma na klatce piersiowej. Stara się jak najwolniej z pozycji siedzącej przejść do leżenia tyłem kontrolując cały czas, by plecy utrzymać zaokrąglone, by stopy przylegały do podłoża oraz by odcinek szyjny był w ustawieniu kifotycznym. Poprzez obserwację stóp, szyi oraz kifozy badający ocenia pracę ekscentryczną brzucha. Test uznaje się za pozytywny, gdy badany nie potrafi w wolnym tempie przejść z pozycji siadu do leżenia. Wynik pozytywny świadczy o obniżonej wydolności mięśni brzucha (Lewit, 2001).

Test draśnięcia Apleya

Test wykonuje się by ocenić rotację zewnętrzną i odwiedzenie w stawie ramiennym. Przebieg badania: badany w pozycji stojącej palcem wskazującym próbuje dotknąć górnego kąta przeciwległej łopatki. Dotknięcie łopatki bez odczucia dolegliwości bólowych nad stożkiem rotatorów lub brak ograniczenia ruchomości w stawie ramiennym oznacza prawidłowe zakresy ruchu. Wynik pozytywny świadczy o uszkodzeniu stożka rotatorów. Podczas badania należy wykluczyć inne zaburzenia, które mogą wywołać podobne objawy, np. zwłóknienie torebki stawowej stawu barkowego, zamiany zwyrodnieniowe stawu ramiennego i stawu barkowo-obojczykowego (Buckup, 2004).

Test Matthiasa (ocena wydolności mięśni grzbietu i tułowia)

Przebieg badania: badany w pozycji stojącej unosi kończyny górne przodem w górę – zgina kończyny górne do kąta prostego i stara się utrzymać tę pozycję przez 30 sekund. Podczas uniesienia kończyn górnych środek ciężkości głowy ulega przesunięciu ku przodowi. Osoba, która ma silną postawę kompensuje to przesunięcie poprzez pochylenie tułowia do tyłu. Poprawnie wykonany test oznacza utrzymanie tej pozycji w pełnym wymiarze czasu próby. Wynik pozytywny świadczy o niewydolnym układzie mięśniowym grzbietu i tułowia. Wyróżnia się dwa stopnie osłabienia postawy. Osłabienie postawy I stopnia charakteryzuje się tym, że tułów po około 30 sekundach ulega przesunięciu do tyłu, a kifoza piersiowa i lordoza

lędźwiowa pogłębiają się. Skutkiem osłabienia postawy stopnia II jest pozycja zgarbiona. Polega ona na braku możliwości przyjęcia przez badanego, już na początku badania, pozycji wyprostowanej, tułów ulega przemieszczeniu ku tyłowi, miednica przesuwa się do przodu, a lordoza lędźwiowa się pogłębia (Buckup, 2004).

Test Thompsona

Test wykonuje się w celu oceny dysfunkcji miednicy (skręcenia). Przebieg badania: badany przyjmuje pozycję leżenia przodem na kozetce. Badający stabilizuje jedną ręką kość krzyżową. Poleca badanemu uniesienie wyprostowanej kończyny dolnej, tak by miednica nie oderwała się od kozetki, a drugą rękę ustawia na wysokości uniesionej pięty. Następnie badany unosi drugą kończynę dolną, wyprostowaną w stawie kolanowym, tak by dotknąć piętą dłoni badającego. Test uznaje się za pozytywny, gdy stwierdza się różnicę w wysokości uniesienia obu kończyn, co świadczy o rotacyjnym ustawieniu miednicy (Zembaty, 2002).

Badanie objawu „wyprzedzania” kolców biodrowych tylnych górnych dla oceny zablokowania stawów krzyżowo-biodrowych

Test wykonuje się w celu oceny dysfunkcji stawów krzyżowo-biodrowych lub by wykluczyć czynnościowe skręcenie miednicy. Przebieg badania: badający stoi za badanym i ustawia swoje kciuki na szczycie kolców biodrowych tylnych górnych. Następnie poleca badanemu wykonać swobodny skłon w przód. Asymetryczne ustawienie kolców biodrowych tylnych górnych po wykonaniu skłonu uznaje się za test pozytywny. Taki wynik wskazuje na zaburzenia funkcji i ruchomości miednicy związane z zablokowaniem stawów krzyżowo-biodrowych (Zembaty, 2002).

Badanie objawu Piedellu

Test wykonuje się w celu potwierdzenia lub wykluczenia przyczyn zaburzeń na poziomie stawów krzyżowo-biodrowych w mechanice miednicy. Przebieg badania: badany przyjmuje pozycję siedzącą, aby miednica była ustabilizowana. Badający wykonuje test analogicznie do

badania objawu wyprzedzania. Asymetryczne ustawienie kolców biodrowych tylnych górnych po wykonaniu skłonu w pozycji siedzącej uznaje się za wynik pozytywny testu. Wynik taki sugeruje, że źródłem zablokowania stawów krzyżowo-biodrowych jest zaburzenie mechaniki kości krzyżowej (Zembaty, 2002).

Test kompresyjny miednicy

Test wykonuje się w celu oceny zaburzeń mechaniki miednicy. Przebieg badania: badany przyjmuje pozycję leżenia tyłem ze zgiętymi kończynami dolnymi w stawach biodrowych i kolanowych. Badający staje z boku badanego i krzyżując swoje proste w stawach łokciowych kończyny górne, opiera ręce na okolicach kolców biodrowych przednich górnych badanego. Badający naciska rękami na miednicę wywołując kompresję stawów krzyżowo-biodrowych. Badany nie powinien odczuwać żadnych dolegliwości bólowych podczas nacisku. Wynik pozytywny testu (ból) świadczy o przeciążeniu więzadeł krzyżowo-biodrowych przednich lub przeciążeniu części proksymalnej stawów krzyżowo-biodrowych (Zembaty, 2002).

3.6. Pomiary symetrii tułowia

Do oceny symetrii tułowia zastosowano komputerowy system oceny postawy ciała MORA 4 Generacji (CQ Elektronik System, Wrocław). Działa on w oparciu o metodę fotogrametryczną wykorzystującą zjawisko mory (Moiré) (Porto i in., 2010; Takasaki, 1970). Ocena ukształtowania powierzchni ciała dokonywana jest w oparciu o analizę zniekształceń linii wyświetlanych na badanej powierzchni. Linie te są generowane przez podłączone do komputera urządzenie projekcyjno-odbiorcze, które umożliwia również rejestrowanie obrazu dzięki wbudowanej kamerze CCD (ryc. 2). Całość podwieszona jest na specjalnym statywie, który pozwala na dopasowanie wysokości położenia urządzenia do wysokości ciała badanej osoby. Po zarejestrowaniu i przetworzeniu na sygnał cyfrowy obraz zostaje przekształcony z wykorzystaniem algorytmów numerycznych oprogramowania na tak zwaną mapę warstwicową. Jest ona następnie analizowana, czego skutkiem jest wyliczenie określonych parametrów opisujących badane płaszczyzny. Parametry te eksportowane są przez

oprogramowanie do arkusza kalkulacyjnego. Czas wykonania jednego ujęcia wynosi 0,03 sekundy, a pole badania ma rozmiar 450 x 550 mm. Dokładność wykonania pomiarów przez aparaturę pod względem rozdzielczości obrazu i wartości liczonych parametrów jest podana przez producenta i wynosi 1 milimetr lub 0,1 stopnia (informacje producenta CQ Elektronik System, Wrocław).



Ryc. 2. Komputerowy system oceny postawy ciała – Mora 4 Generacji (źródło: CQ Elektronik System, <http://www.cq.com.pl>)

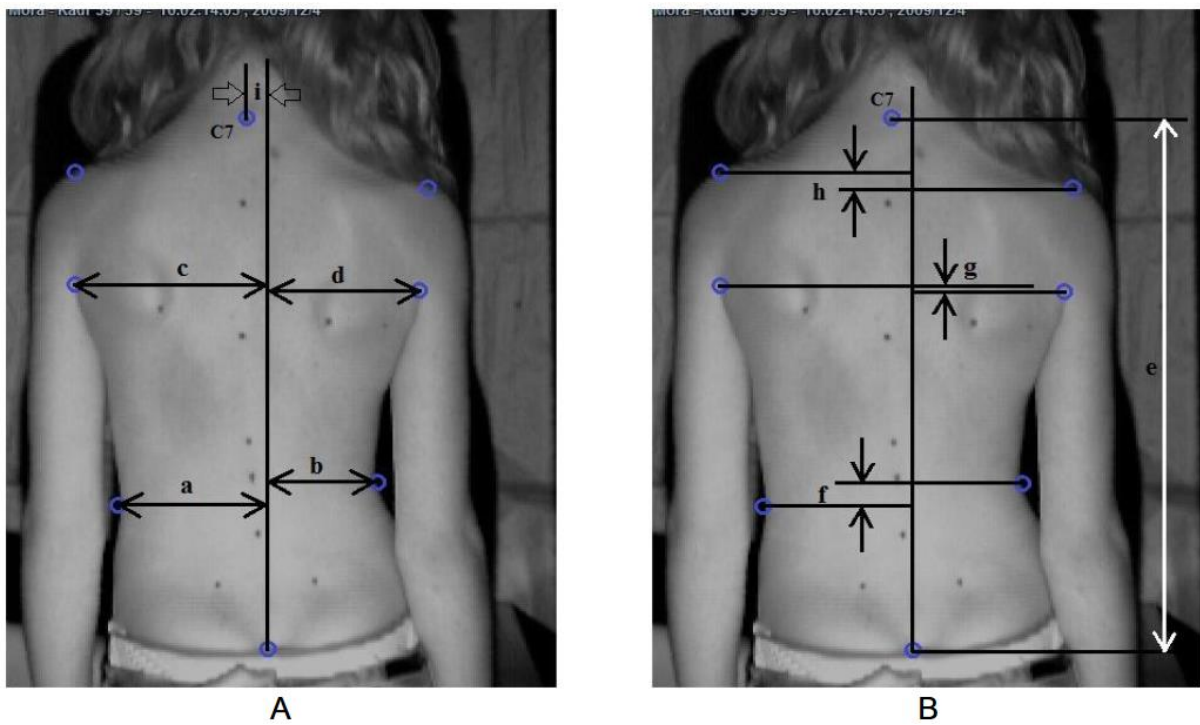
Badania prowadzono w specjalnie przygotowanym do tego celu zaciemnionym pomieszczeniu. Możliwość stworzenia absolutnej ciemności jest warunkiem koniecznym przeprowadzenia prawidłowego badania. Przed przystąpieniem do wykonania pomiarów, na plecach badanego za pomocą dermatografu zaznaczano punkty na szczycie wyrostka kolczystego ostatniego kręgu szyjnego C7, jak również wyrostka kolczystego będącego szczytem kifozy piersiowej (KP) oraz wyrostka kolczystego będącego szczytem lordozy lędźwiowej (LL). Zaznaczano też okolice przejścia kifozy w lordozę (PL), dolne kąty łopatek (łl,

łp), kolce biodrowe tylne górne (Ml, Mp) oraz kręgi S1. Zaznaczenie było konieczne do precyzyjnej identyfikacji tych punktów na ekranie monitora. Badana osoba ustawiana była w swobodnej, niewymuszonej pozycji, tyłem do aparatury w odległości 2,6 m. Badany instruowany był, aby stać swobodnie (nawykowo), na wyprostowanych kończynach dolnych, równo obciążając kończyny dolne z kończynami górnymi opuszczonymi wzdłuż tułowia. Zwracano również uwagę na ustawienie równoległe względem siebie kolców biodrowych tylnych górnych, by uniknąć rotacyjnego ustawienia miednicy (zachowanie osi w układzie Kartezjańskim) (Kotwicki i in., 2008). Aparaturę ustawiano tak, by na monitorze widoczny był początek szpary pośladkowej, co ułatwiało wyznaczenie przebiegu osi kręgosłupa. Każdej badanej osobie wykonywano łącznie 30 fotografii (instrukcja obsługi dostarczona przez producenta; Mrozkowiak & Strzecha, 2012).

Do analizy symetrii tułowia wykorzystano wskaźnik POTSI (ang. *posterior trunk symmetry index*, tylny współczynnik symetrii tułowia). Jest to parametr topografii powierzchni ciała wskazujący zniekształcenia w płaszczyźnie czołowej opisany przez Suzuki, Inami i wsp. (Inami i in., 1999; Suzuki i in., 1999). Obliczany jest poprzez dodanie do siebie wartości sześciu parametrów, tj. trzech współczynników asymetrii (ang. *frontal asymmetry index*, FAI) i trzech współczynników różnic wysokości (ang. *high difference index*, HDI) względem centralnej pionowej linii krzyżowej – CPLK (opisywanej w poniższych wzorach jako „i”), poprowadzonej od wyrostka kolczystego C7 do początku szpary pośladkowej. Wskaźnik POTSI uwzględnia położenie ośmiu punktów anatomicznych wyznaczonych na stronie grzbietowej tułowia badanego: wyrostka kolczystego C7, szczytu tylnego fałdu pachy prawej i lewej, wyrostka barkowego łopatki prawego i lewego, największego wcięcia w tali po stronie prawej i lewej, początku szpary pośladkowej (ryc. 3) (Kotwicki i in., 2008).

Do współczynników asymetrii w płaszczyźnie czołowej (FAI) zalicza się: współczynnik wyrostka kolczystego „C7” (FAI – C7), który obliczany jest na podstawie odległości wytyczonej prostą linią wzdłuż CPLK do wyrostka kolczystego siódmego kręgu szyjnego, współczynnik pachowy „axillar” (FAI – a), obliczanego na podstawie odległości wyznaczonej od dołu pachowego (prawego i lewego) do CPLK oraz współczynnik tułowia „trunk” (FAI – t), który mierzy odległość prawego i lewego wcięcia talii od CPLK. Natomiast w skład współczynników „wysokościowych” (HDI) wchodzi współczynnik barkowy „shoulder” (HDI – s), który przedstawia różnicę między wysokością stawów barkowych a wysokością tułowia wyznaczonej

od C7 do szpary pośladkowej, współczynnik pachowy „axillar” (HDI – a), wyliczany jako stosunek różnicy wysokości obu dołów pachowych do wysokości tułowia oraz współczynnik tułowia „trunk” (HDI – t), będący miarą różnicy między wysokością talii a wysokością tułowia (ryc. 3) (Kotwicki i in., 2008).



Ryc. 3. Punkty i wymiary wykorzystywane do obliczeń współczynników asymetrii w płaszczyźnie czołowej FAI – *frontal asymmetry index* (A) oraz współczynników różnicy wysokości HDI – *high difference index* (B) (źródło: Chowańska, 2011)

Wskaźnik POTSI obliczany jest według wzoru:

$$POTSI = FAI(C7) + FAI(a) + FAI(t) + HDI(s) + HDI(a) + HDI(t)$$

gdzie:

$$FAI(C7) = \frac{i}{c + d} \times 100$$

$$FAI(a) = \frac{|c - d|}{c + d} \times 100$$

$$FAI(a) = \frac{|a - b|}{a + b} \times 100$$

$$HDI(s) = \frac{h}{e} \times 100$$

$$HDI(a) = \frac{g}{e} \times 100$$

$$HDI(t) = \frac{f}{e} \times 100$$

Opisy wszystkich elementów powyższych równań dostępne są w tekście oraz w podpisie ryciny 3., przy czym: i – centralna pionowa linia krzyżowa (CPLK), a-d – parametry współczynników asymetrii w płaszczyźnie czołowej (FAI), e-h – parametry współczynników różnicy wysokości (HDI) (Kotwicki i in., 2008).

W warunkach idealnej symetrii wartość wskaźnika POTSI wynosi 0 (parametr ten nie posiada miana). Górna granica normy została opisana przez Suzuki i wsp. (1999) na 27,0, a przez Mingueza i wsp. (2007) na 27,5. Im większa jest wartość parametru, tym większa jest asymetria tułowia (Mínguez i in., 2007; Suzuki i in., 1999).

3.7. Obliczenia statystyczne

Zasadnicze obliczenia dotyczące zmiennych zależnych (wskaźników stabilności posturalnej i symetrii tułowia) wykonano za pomocą metody dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA (test F). Zmienne zostały sprawdzone pod kątem normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. Ustalono, że w przypadku większości zmiennych nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy 0 odnośnie normalności rozkładu¹.

Analizę wykonano z uwzględnieniem wewnątrzgrupowego czynnika powtarzanych pomiarów – „czas”, na dwóch poziomach (przed i po zabiegu – pre-test i post-test) oraz czynnika międzygrupowego „grupa” (grupa eksperymentalna i kontrolna). Dla efektów interakcji („grupa” × „czas”) obliczono wielkość efektu eta-kwadrat. Wielkość efektu wskazuje procent wariancji wyjaśniony przez poszczególne efekty zmiennej zależnej. Aby porównać średnie wartości wskaźników stabilności posturalnej oraz średnie wartości wskaźnika symetrii tułowia (zarówno wartości przed i po zabiegu w obrębie grup, jak i pomiędzy grupami w warunkach przed i po), wykonano szczegółowe porównania testem post-hoc Bonferroniego.

W przypadku zmiennych związanych z wynikami testów funkcjonalnych mięśni do porównań wewnątrzgrupowych i międzygrupowych z uwzględnieniem dwóch terminów badania (przed i po zabiegu – pre-test, post-test) wykorzystano test niezależności Chi kwadrat. W tym celu zakodowano wyniki badań funkcjonalnych w skali nominalnej, gdzie „0” oznaczało negatywny wynik testu (zakres fizjologiczny ruchu lub stanu mięśnia/grupy mięśni), a „1” wynik pozytywny (brak prawidłowych zakresów). W przypadku porównań między terminami badań stworzono model, w którym badani z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przydzielani byli do jednej z trzech kategorii:

A – poprawa – wynik pozytywny testu w pierwszym badaniu, wynik negatywny w drugim (1 – 0),

B – wynik testu funkcjonalnego bez zmian – taki sam wynik w pierwszym i w drugim badaniu (0 – 0 lub 1 – 1),

¹ Wielokrotnie wykazywano, że analiza wariancji jest odporna na złamanie warunku normalności rozkładu (Blanca i in., 2017).

C – pogorszenie – wynik negatywny testu w pierwszym badaniu, wynik pozytywny w drugim (0 – 1).

W przypadku wystąpienia istotnej różnicy wielkość efektu oceniano współczynnikiem F_i lub V Cramera, odpowiednio dla jednego i dwóch stopni swobody.

Do porównań międzygrupowych pod względem wieku i charakterystyk somatycznych zastosowano test t-Studenta.

Minimalny poziom istotności statystycznej określono jako $p \leq 0,05$. Obliczenia prowadzono w programie Statistica v. 13.0 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, Kalifornia, USA).

4. Wyniki

4.1. Wyniki pomiarów wstępnych – charakterystyki somatyczne

Badani z obu grup, eksperymentalnej i kontrolnej, charakteryzowali się podobną wysokością ciała, odpowiednio 180,0±7,45 cm i 180,1±5,20 cm. Istotnie wyższą masę ciała, a także BMI, obserwowano w grupie kontrolnej (odpowiednio 79,5±11,34 kg i 24,5±2,98 kg/m²) niż w eksperymentalnej (61,9±5,57 kg i 19,1±1,68 kg/m²). Podstawowe charakterystyki dotyczące wieku i parametrów somatycznych umieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Statystyki podstawowe (średnia, odchylenie standardowe, wartości minimalne i maksymalne oraz 95% przedział ufności) dla wieku i charakterystyk somatycznych badanych z grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

Charakterystyka	Grupa eksperymentalna (n=21)			Grupa kontrolna (n=22)			test t-Studenta (p)
	$\bar{x} \pm SD$	min-max	95% CI	$\bar{x} \pm SD$	min-max	95% CI	
Wiek [lata]	16,7±1,45	14,1-19,6	16,0-17,3	17,16±1,38	15,8-21,1	16,5-17,8	1,13 (0,267)
Wysokość ciała [cm]	180,0±7,45	165-200	176,6-183,3	180,1±5,20	170-190	177,8-182,4	0,09 (0,925)
Masa ciała [kg]	61,9±5,57	51,7-70,6	59,3-64,4	79,5±11,34	61,9-101,4	74,5-84,6	6,44 (0,000)
BMI [kg/m ²]	19,1±1,68	16,0-23,4	18,4-19,9	24,5±2,98	20,1-31,3	23,1-25,8	7,20 (0,000)

4.2. Wyniki pomiarów stabilności posturalnej

Wartości średnie i statystyki podstawowe wszystkich zmierzonych wskaźników stabilności posturalnej dla grupy eksperymentalnej i kontrolnej, jak również różnice pomiędzy dwoma terminami pomiarów dla wszystkich trzech warunków (próby obunóż z oczami otwartymi, obunóż z oczami zamkniętymi i jednonóż z oczami otwartymi), umieszczono w tabeli 5A (grupa eksperymentalna) i 5B (grupa kontrolna).

Tab. 5A. Wartości średnie i statystyki podstawowe wszystkich zmierzonych wskaźników stabilności posturalnej dla grupy eksperymentalnej, dla wszystkich trzech warunków pomiarów, w obu terminach badań, oraz różnice między terminami

Próba	Wskaźnik stabilności posturalnej	Grupa eksperymentalna (n=21)																	
		pretest						posttest						różnice					
		\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD	\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD	\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD
EO	Vavg	11,06	9,95	12,17	7,43	16,57	2,43	11,66	10,65	12,68	8,07	15,87	2,23	-0,61	-1,96	0,75	-5,60	5,57	2,98
	VavgAP	7,11	6,20	8,03	4,30	12,17	2,01	8,13	7,31	8,95	5,30	11,13	1,79	-1,02	-2,22	0,19	-4,97	4,87	2,64
	VavgML	6,90	6,24	7,56	4,73	9,60	1,46	6,59	5,98	7,19	4,93	8,83	1,33	0,31	-0,29	0,91	-1,93	2,93	1,32
	SA	463,3	349,7	577,0	177,0	1249,0	249,7	542,3	398,7	686,0	178,0	1355,0	315,5	-79,0	-199,7	41,7	-577,0	504,0	265,2
	MaxAP	10,89	9,04	12,74	5,50	23,60	4,06	13,92	10,99	16,86	6,20	32,00	6,45	-3,03	-6,03	-0,04	-20,90	10,20	6,59
	MaxML	6,00	4,19	7,80	2,20	18,00	3,96	8,99	6,93	11,04	2,40	20,80	4,51	-2,99	-4,96	-1,02	-10,80	5,60	4,32
EC	Vavg	13,45	11,80	15,09	9,07	22,27	3,61	14,75	13,05	16,45	9,03	22,67	3,73	-1,30	-3,23	0,62	-13,60	8,40	4,22
	VavgAP	9,62	8,15	11,08	6,17	18,30	3,21	10,88	9,46	12,29	6,17	16,53	3,11	-1,26	-2,70	0,18	-8,10	6,20	3,16
	VavgML	7,34	6,60	8,08	5,07	11,63	1,63	7,64	6,64	8,65	5,27	15,10	2,21	-0,30	-1,47	0,87	-9,90	4,53	2,57
	SA	2195,4	1603,3	2787,4	581,0	6107,0	1300,6	2204,6	1720,4	2688,9	537,0	4649,0	1063,9	-9,2	-805,8	787,4	-2533,0	5149,0	1750,0
	MaxAP	23,29	18,09	28,50	10,40	57,80	11,44	24,56	20,08	29,04	6,80	44,40	9,84	-1,27	-8,65	6,11	-26,60	51,00	16,22
	MaxML	16,27	12,60	19,93	5,40	33,60	8,06	21,02	11,38	30,66	4,80	102,40	21,18	-4,75	-13,49	3,98	-68,80	25,80	19,18
OLS	Vavg	36,67	33,77	39,57	28,50	51,63	6,37	36,71	31,81	41,60	19,37	61,30	10,75	-0,04	-3,85	3,77	-19,07	11,87	8,38
	VavgAP	20,80	18,73	22,88	11,23	31,53	4,56	21,53	18,66	24,41	9,37	38,37	6,32	-0,73	-3,51	2,05	-14,27	10,20	6,11
	VavgML	25,99	23,73	28,24	17,20	35,83	4,95	25,43	21,74	29,12	14,60	46,40	8,11	0,55	-2,04	3,15	-13,27	9,97	5,70
	SA	3072,1	2562,4	3581,8	1069,0	4987,0	1119,7	2641,0	2112,9	3169,2	1008,0	5080,0	1160,3	431,0	-28,3	890,4	-1504,0	1974,0	1009,0
	MaxAP	21,93	19,61	24,24	11,80	32,30	5,09	18,63	15,91	21,35	12,40	37,90	5,97	3,30	0,20	6,40	-6,50	18,60	6,81
	MaxML	16,75	15,01	18,48	11,40	23,00	3,82	14,40	12,80	15,99	8,30	22,50	3,50	2,35	-0,04	4,75	-9,90	12,40	5,26

EO – pozycja obunóż oczy otwarte, EC – pozycja obunóż oczy zamknięte, OLS – pozycja jednonóż oczy otwarte

Tab. 5B. Wartości średnie i statystyki podstawowe wszystkich zmierzonych wskaźników stabilności posturalnej dla grupy kontrolnej, dla wszystkich trzech warunków pomiarów, w obu terminach badań, oraz różnice między terminami

Próba	Wskaźnik stabilności posturalnej	Grupa kontrolna (n=22)																	
		pretest						posttest						różnice					
		\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD	\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD	\bar{X}	-95%CI	95%CI	min	max	SD
EO	Vavg	7,25	6,74	7,75	5,32	9,47	1,13	7,51	6,93	8,09	5,27	10,37	1,31	-0,26	-0,42	-0,10	-1,30	0,21	0,36
	VavgAP	5,39	5,00	5,78	4,22	7,28	0,88	5,59	5,12	6,07	4,27	7,75	1,07	-0,20	-0,35	-0,05	-1,31	0,14	0,35
	VavgML	3,70	3,33	4,07	2,48	5,93	0,84	3,83	3,44	4,22	2,32	5,75	0,88	-0,13	-0,23	-0,03	-0,63	0,18	0,22
	SA	175,3	145,1	205,5	90,0	345,0	68,1	287,8	201,7	374,0	94,0	915,0	194,3	-112,5	-182,9	-42,1	-620,0	100,0	158,9
	MaxAP	9,28	7,67	10,90	4,70	20,00	3,64	12,21	9,38	15,05	3,90	27,30	6,39	-2,93	-5,77	-0,10	-17,50	9,30	6,40
	MaxML	3,64	3,08	4,20	1,70	7,70	1,26	4,77	3,61	5,93	2,50	11,90	2,62	-1,14	-2,05	-0,22	-6,90	1,60	2,07
EC	Vavg	9,26	8,41	10,11	6,25	14,29	1,91	9,27	8,50	10,03	6,50	13,58	1,72	0,00	-0,31	0,30	-1,28	1,27	0,68
	VavgAP	7,48	6,84	8,12	4,99	10,14	1,45	7,51	6,95	8,06	5,15	9,45	1,25	-0,03	-0,28	0,23	-1,10	1,16	0,58
	VavgML	3,95	3,41	4,48	2,26	8,03	1,21	3,92	3,40	4,44	2,35	7,55	1,17	0,03	-0,13	0,18	-1,03	0,65	0,35
	SA	1206,5	908,9	1504,0	269,0	3081,0	671,2	1025,9	792,0	1259,7	236,0	2134,0	527,5	180,6	-158,7	519,9	-1533,0	1855,0	765,2
	MaxAP	22,21	18,98	25,44	10,50	37,30	7,29	20,04	16,65	23,43	6,90	38,30	7,64	2,17	-1,89	6,22	-14,90	14,10	9,14
	MaxML	11,04	8,15	13,93	3,10	27,10	6,53	9,97	7,95	11,98	2,30	17,40	4,55	1,07	-1,73	3,88	-10,00	13,70	6,32
OLS	Vavg	32,84	29,95	35,73	24,13	44,59	6,52	33,55	30,58	36,53	23,37	47,68	6,71	-0,71	-1,55	0,13	-4,22	2,88	1,89
	VavgAP	21,46	18,84	24,09	12,51	31,01	5,92	21,66	19,11	24,21	12,22	33,48	5,75	-0,19	-0,82	0,43	-2,48	2,38	1,41
	VavgML	20,59	18,99	22,19	13,68	27,64	3,61	21,36	19,73	22,99	15,22	28,02	3,68	-0,77	-1,39	-0,15	-3,75	1,93	1,39
	SA	2229,4	1856,0	2602,8	877,0	4071,0	842,2	2650,9	2232,5	3069,2	1140,0	4058,0	943,6	-421,5	-824,0	-19,0	-1853,0	1161,0	907,8
	MaxAP	21,15	18,60	23,69	10,05	33,43	5,74	21,20	18,75	23,65	11,60	31,75	5,53	-0,05	-0,80	0,70	-4,55	3,05	1,69
	MaxML	14,44	11,56	17,32	7,83	40,93	6,50	14,46	12,40	16,51	8,35	32,65	4,63	-0,02	-1,01	0,96	-2,05	8,28	2,22

EO – pozycja obunóż oczy otwarte, EC – pozycja obunóż oczy zamknięte, OLS – pozycja jednonóż oczy otwarte

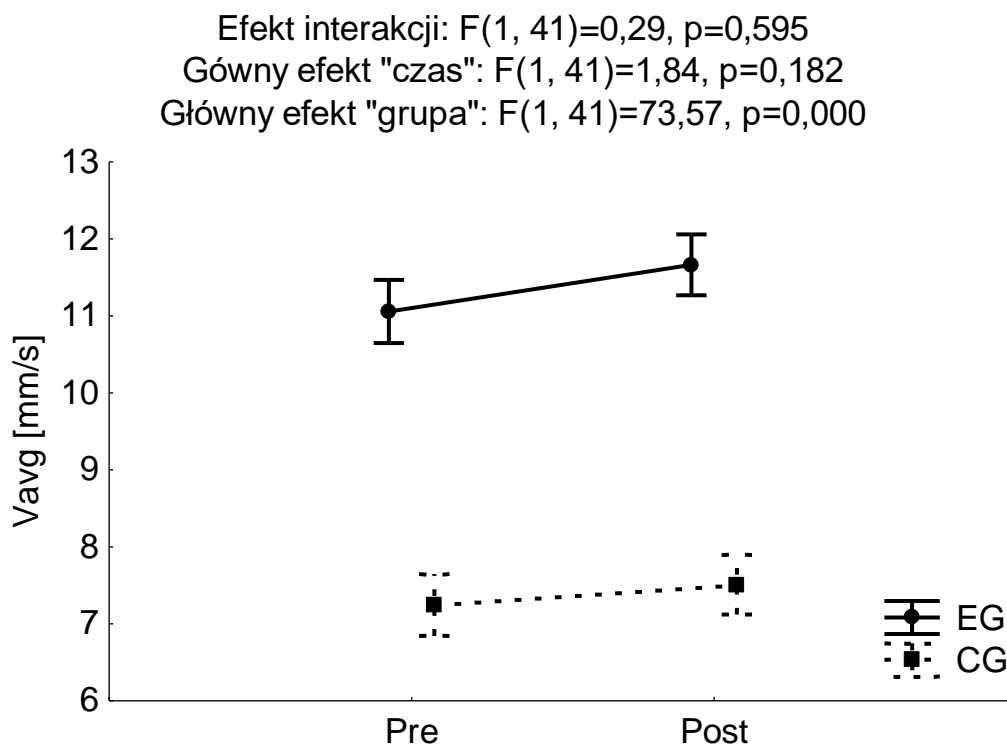
Przeprowadzono analizę wariancji (ANOVA) w celu porównania wartości wskaźników stabilności posturalnej w dwóch terminach badań (pre-test i post-test) w grupie eksperymentalnej i kontrolnej, jak również w celu dokonania porównań międzygrupowych w zakresie wartości parametrów zmierzonych podczas pomiarów realizowanych w trzech różnych warunkach, tj. podczas prób obunóż z oczami otwartymi (EO) i oczami zamkniętymi (EC) oraz prób jednonóż z oczami otwartymi (OLS).

Wyniki ANOVA dla powtarzanych pomiarów w odniesieniu do wartości wskaźników stabilności posturalnej w próbach obunóż z oczami otwartymi przedstawiają ryciny 4-9.

W przypadku wskaźników dotyczących średniej prędkości COP nie zaobserwowano istotnego efektu interakcji między czasem pomiaru (pre-test i post-test) i rodzajem grupy (eksperymentalna i kontrolna) – „czas” × „grupa”. W odniesieniu do wskaźników Vavg, VavgAP i VavgML (odpowiednio, średnia prędkość COP, średnia prędkość w kierunku przednio-tylnym i średnia prędkość w kierunku przyśrodkowo-bocznym) zaobserwowano natomiast istotny efekt „grupy” (odpowiednio $F_{(1,41)}=73,57$, $p=0,000$, $\eta^2=0,64$; $F_{(1,41)}=35,00$, $p=0,000$, $\eta^2=0,46$ and $F_{(1,41)}=86,30$, $p=0,000$, $\eta^2=0,68$) z wyższymi wartościami wskaźników w grupie eksperymentalnej niż kontrolnej, zarówno w pierwszym (pre-test), jak i drugim terminie badań (post-test) – wynik testu post-hoc Bonferroniego co najmniej na poziomie $p<0.01$. Wyniki te można interpretować jako wskazujące na gorszą stabilność posturalną badanych z grupy eksperymentalnej. Ponadto zaobserwowano główny efekt „czasu” dla wskaźnika VavgAP ($F_{(1,41)}=4,59$, $p=0,038$, $\eta^2=0,10$), jednak bez wyraźnego efektu prostego zarówno w grupie eksperymentalnej ($p=0,099$), jak i kontrolnej ($p=1,000$).

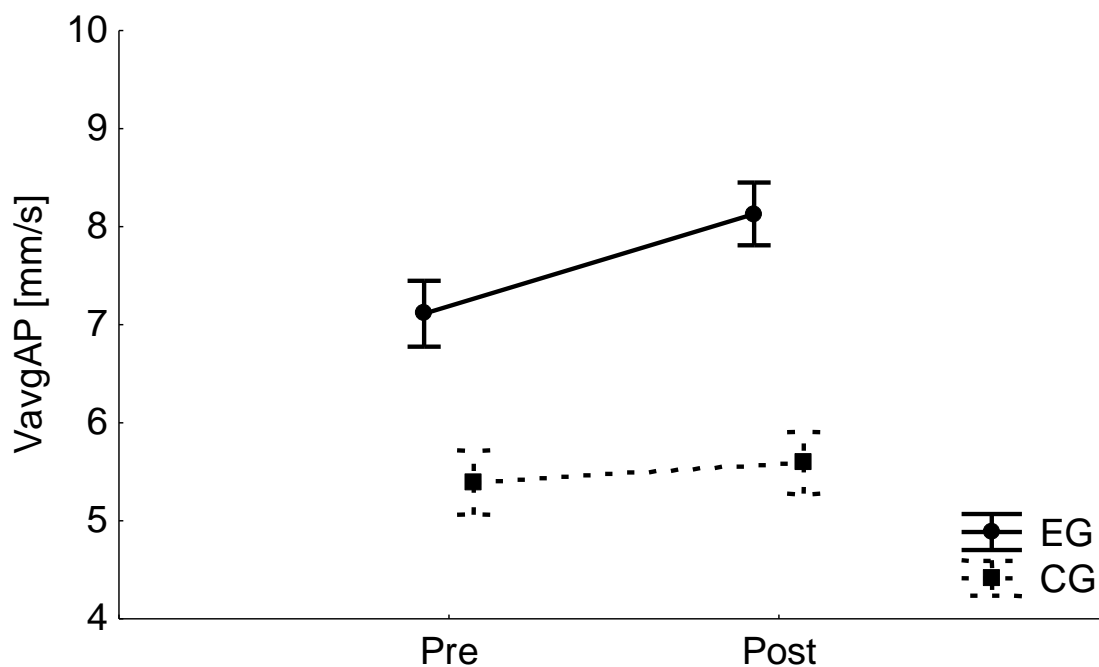
W przypadku wskaźnika SA (pola powierzchni określanego przez COP) nie zaobserwowano istotnego efektu interakcji między czasem pomiaru i rodzajem grupy („czas” × „grupa”), jednak stwierdzono wyraźny główny efekt „grupy” z wyższymi wartościami wskaźnika w grupie eksperymentalnej niż kontrolnej, zarówno przed ($p<0,01$), jak i po zabiegu ($p<0,001$). Ponadto zaobserwowano w grupie eksperymentalnej statystycznie istotny efekt „czasu” w przypadku wskaźnika MaxAP ($F_{(1,41)}=6,78$, $p=0,013$, $\eta^2=0,14$) z wyższymi wartościami po zabiegu niż przed ($p=0,033$), co można interpretować jako pogorszenie stabilności posturalnej po operacji korekty klatki piersiowej lejkowatej. W odniesieniu do wskaźnika MaxML istotny okazał się efekt interakcji „czas” × „grupa” ($F_{(1,41)}=8,51$, $p=0,006$, $\eta^2=0,17$), Jego

wartość w grupie eksperymentalnej była wyższa po zabiegu niż przed ($p < 0,001$), jak również w porównaniu do wartości tego wskaźnika z drugiego badania w grupie kontrolnej ($p < 0,001$), co świadczyć może o gorszej stabilności posturalnej badanych z grupy eksperymentalnej względem grupy kontrolnej. Zaobserwowano również istotny główny efekt „czasu” ($F_{(1,41)}=12,46$, $p=0,001$, $\eta^2=0,23$), jak też główny efekt „grupy” ($F_{(1,41)}=16,11$, $p=0,000$, $\eta^2=0,28$) dla MaxML.



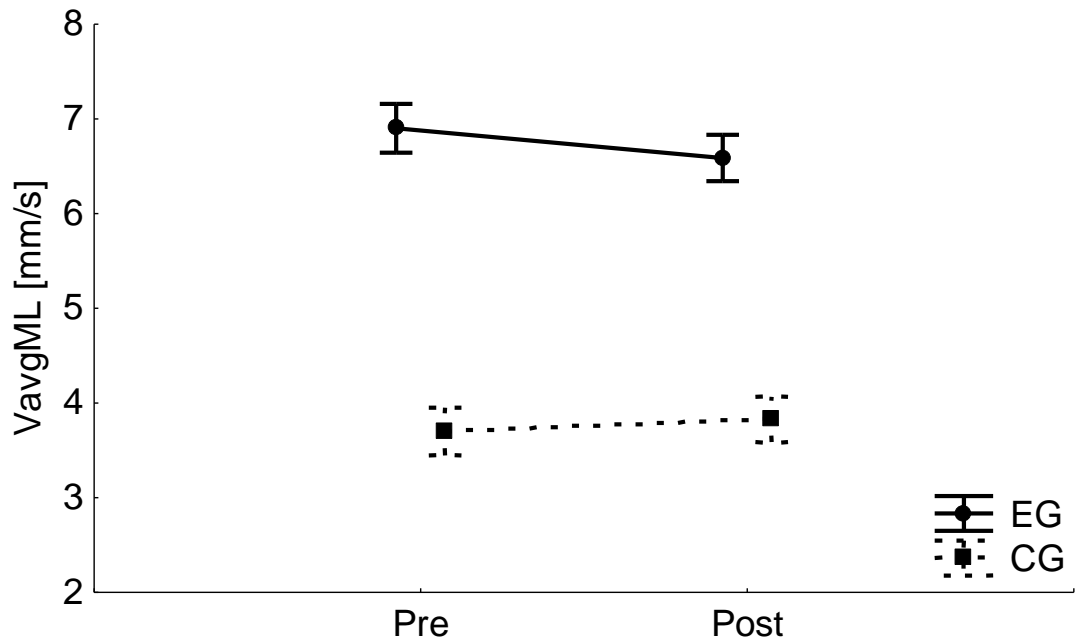
Ryc. 4. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=2,06, p=0,158$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=4,59, p=0,038$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=35,00, p=0,000$



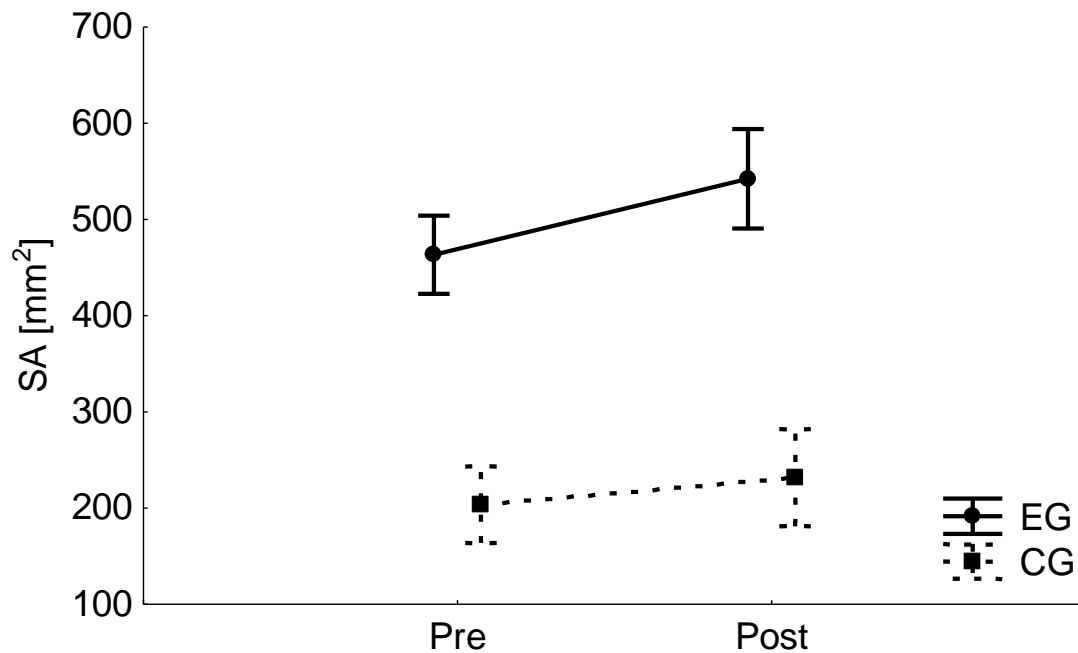
Ryc. 5. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środką nacisku) w osi Y, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=2,42, p=0,127$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=0,47, p=0,517$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=86,30, p=0,000$



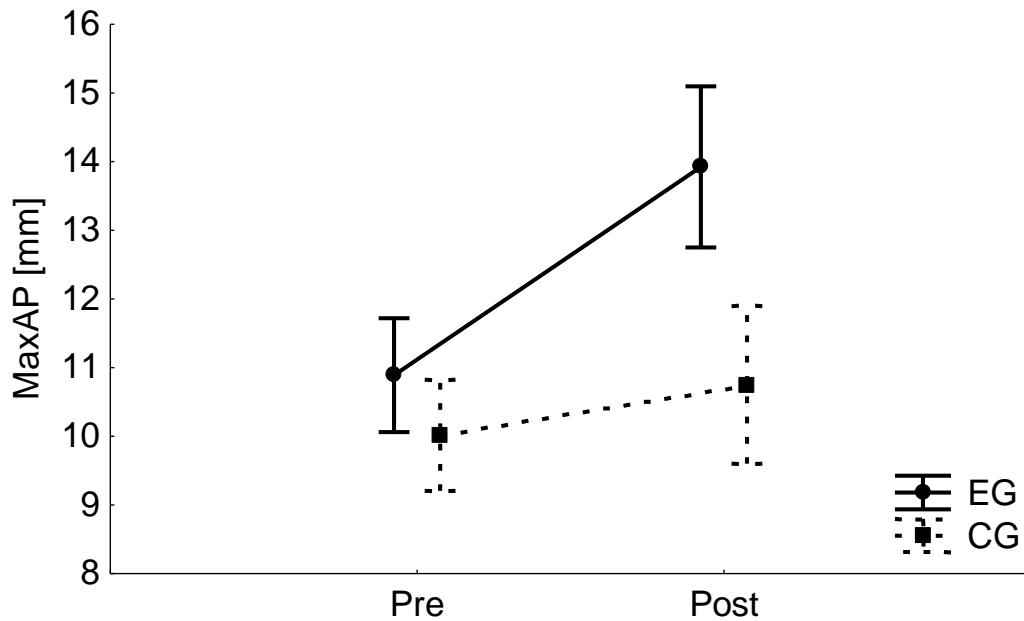
Ryc. 6. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=0,79, p=0,379$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=3,51, p=0,068$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=23,89, p=0,000$



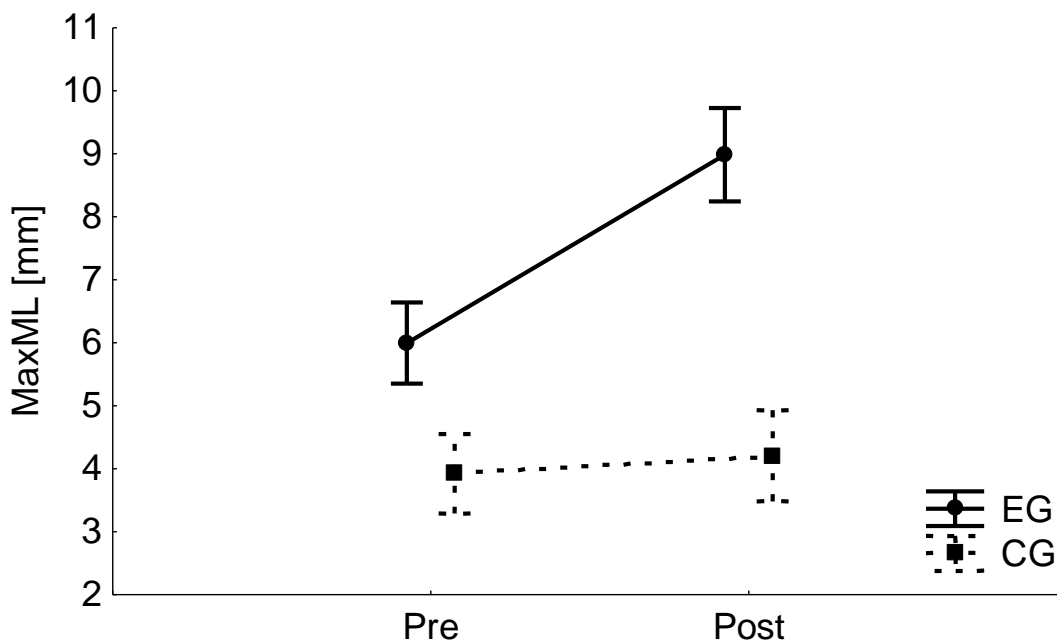
Ryc. 7. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środką nacisku) w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=2,53, p=0,119$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=6,78, p=0,013$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=2,75, p=0,105$



Ryc. 8. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

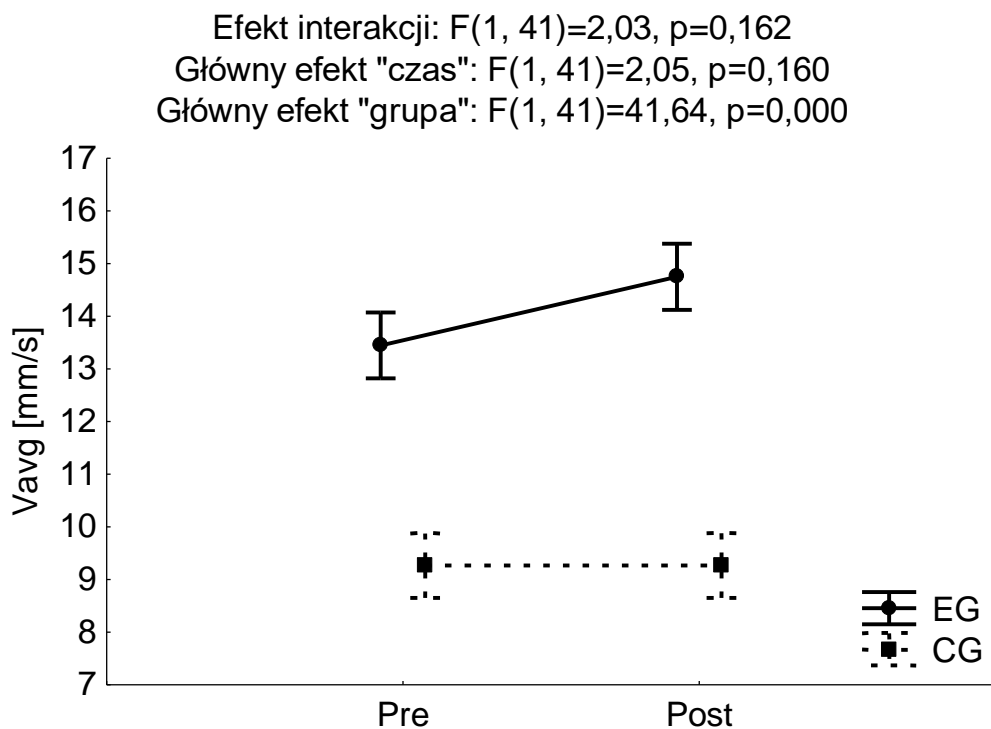
Efekt interakcji: $F(1, 41)=8,51, p=0,006$
 Główny efekt "czas": $F(1, 41)=12,46, p=0,001$
 Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=16,11, p=0,000$



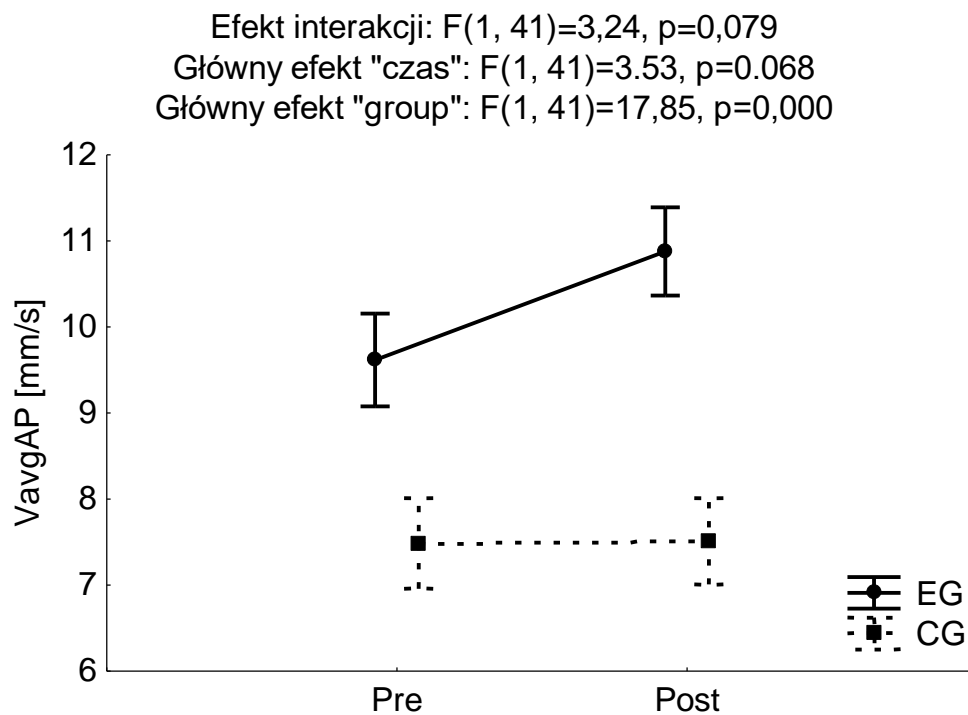
Ryc. 9. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Wyniki analizy wariancji dla powtarzanych pomiarów wskaźników stabilności posturalnej w próbach z oczami zamkniętymi przedstawiono na rycinach 10-15. W odniesieniu do wskaźników prędkości, tj. Vavg, VavgAP i VavgML nie stwierdzono istotnego efektu interakcji „czas” × „grupa”, choć zaobserwowano istotny główny efekt „grupy” (odpowiednio $F_{(1,41)}=41,64, p=0,000, \eta^2=0,50$; $F_{(1,41)}=17,85, p=0,000, \eta^2=0,30$ and $F_{(1,41)}=77,75, p=0,000, \eta^2=0,65$). Test post-hoc Bonferroniego wykazał wyższe wartości tych wskaźników w grupie eksperymentalnej niż kontrolnej, zarówno w pierwszym terminie badań ($p<0,05$), jak i w drugim ($p<0,001$), co można interpretować jako słabszą stabilność posturalną w grupie eksperymentalnej. Podobne wnioski można wysnuwać z analizy wskaźników przestrzennego

rozstawienia COP. W przypadku SA obserwowano istotny główny efekt „grupy” ($F_{(1,41)}=27,35$, $p=0,000$, $\eta^2=0,40$) z wyższymi wartościami w grupie eksperymentalnej, zarówno w pierwszym, jak i w drugim terminie badań, a w przypadku MaxML ($F_{(1,41)}=7,39$, $p=0,010$, $\eta^2=0,15$) wyższe wartości w drugim terminie w grupie eksperymentalnej niż kontrolnej. Nie zaobserwowano istotnego efektu interakcji „czas” × „grupa” dla wskaźników SA, MaxAP i MaxML.

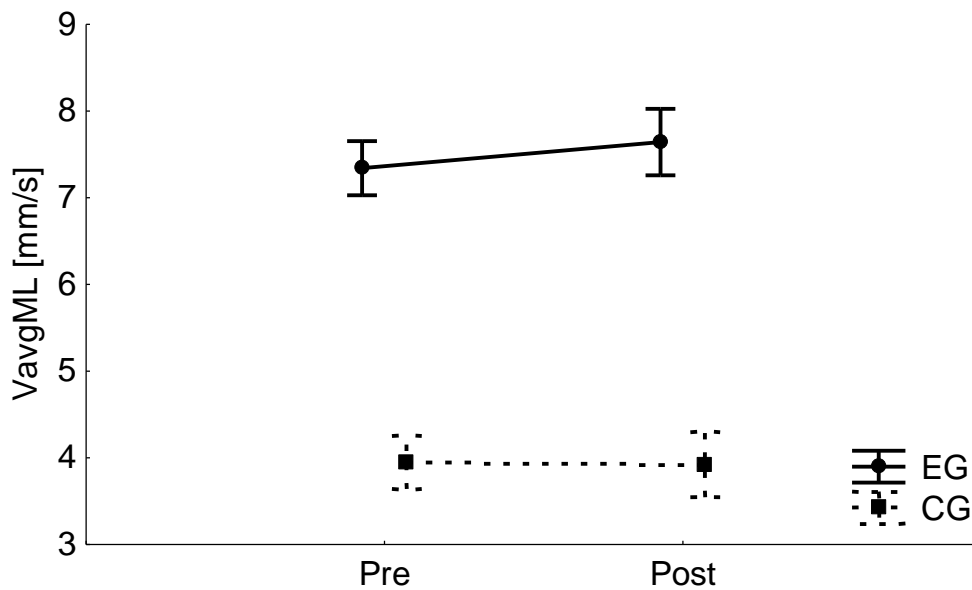


Ryc. 10. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środką nacisku) w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów



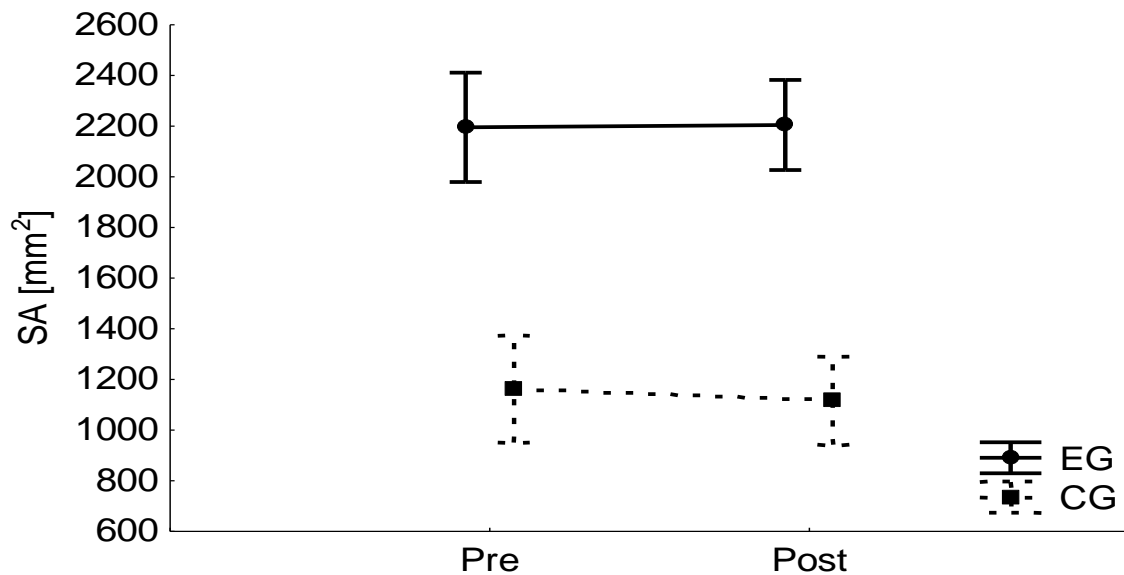
Ryc. 11. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi Y, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=0,35, p=0,557$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=0,25, p=0,621$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=77,75, p=0,000$



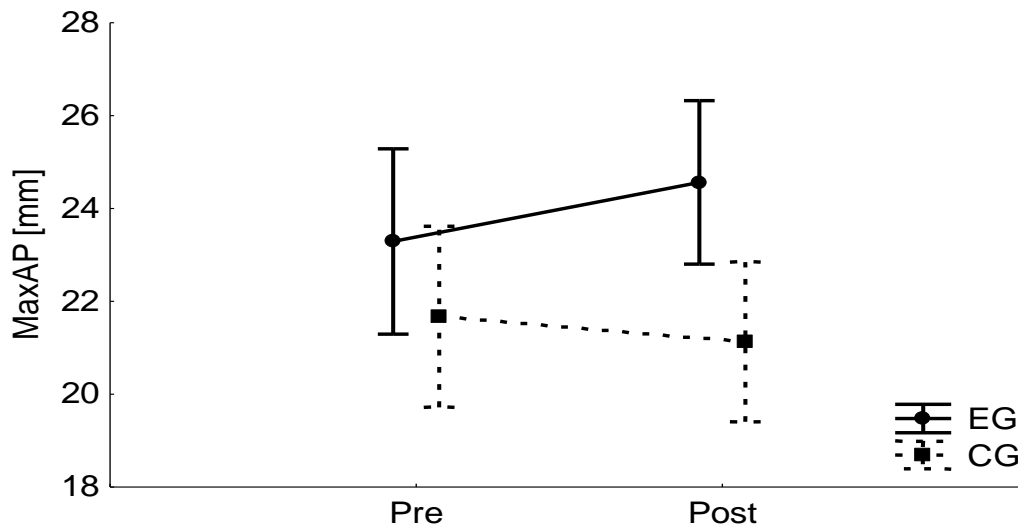
Ryc. 12. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=0,02, p=0,885$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=0,01, p=0,924$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=27,35, p=0,000$



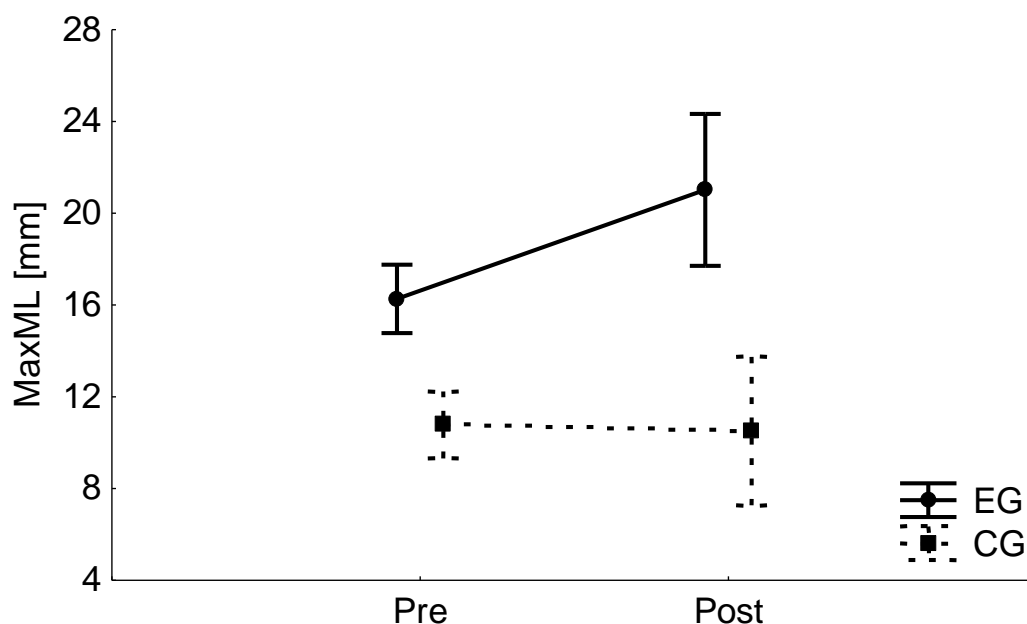
Ryc. 13. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środką nacisku) w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=0,27, p=0,606$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=0,04, p=0,836$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=1,65, p=0,206$



Ryc. 14. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środką nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

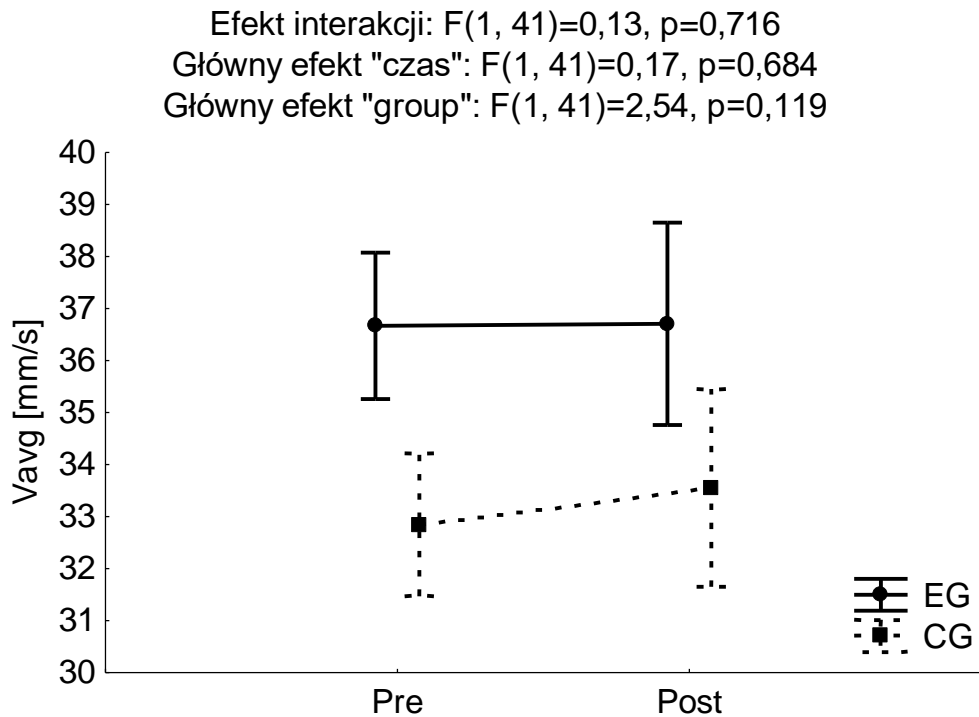
Efekt interakcji: $F(1, 41)=1,50, p=0,228$
 Główny efekt "czas": $F(1, 41)=1,20, p=0,281$
 Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=7,39, p=0,010$



Ryc. 15. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

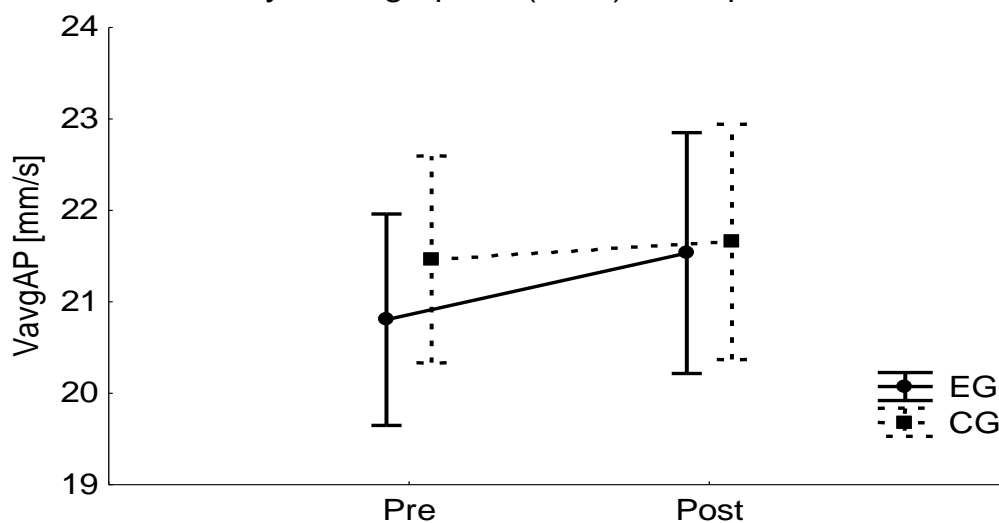
Wyniki analizy wariancji dla powtarzanych pomiarów wskaźników stabilności posturalnej w próbach wykonywanych na jednej kończynie dolnej (dominującej) z oczami otwartymi przedstawiono na rycinach 16-21. Nie zaobserwowano istotnego efektu interakcji „czas” × „grupa” dla wskaźników dotyczących prędkości przemieszczania COP w tych próbach. Wystąpił istotny główny efekt „grupy” jedynie dla wskaźnika V_{avgML} ($F_{(1,41)}=9,79, p=0,003, \eta^2=0,19$), którego wartości przed zabiegiem były wyższe w grupie eksperymentalnej niż grupie kontrolnej ($p<0,05$). W odniesieniu do wskaźników stabilności posturalnej związanych z przestrzennym rozmieszczeniem COP zaobserwowano istotny efekt interakcji „czas” × „grupa” w przypadku SA ($F_{(1,41)}=5,91, p=0,020, \eta^2=0,13$) i MaxAP ($F_{(1,41)}=5,01, p=0,031, \eta^2=0,11$). Test post-hoc Bonferroniego wykazał w pierwszym terminie badań nieco niższe

wartości wskaźnika SA niż w drugim (różnica nie osiągnęła poziomu istotności statystycznej – $p=0,055$), i istotnie niższe w przypadku wskaźnika MaxAP ($p=0,022$). Zaobserwowano również główny efekt „czasu” dla tego wskaźnika ($F_{(1,41)}=4,70$, $p=0,036$, $\eta^2=0,10$).

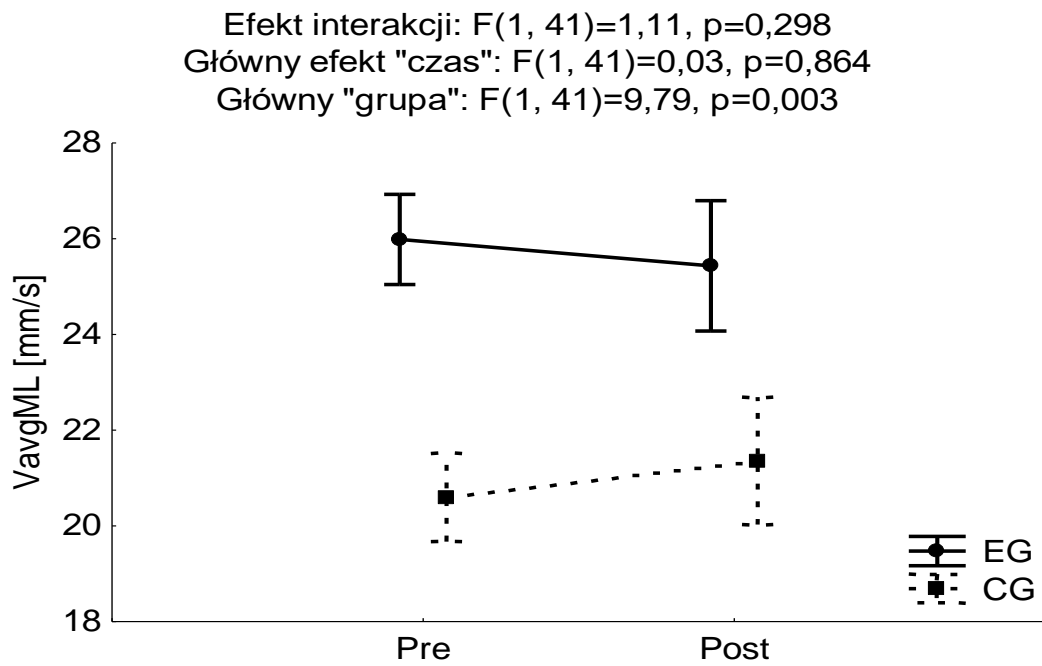


Ryc. 16. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w pozycji jednoź z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=0,16, p=0,691$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=0,47, p=0,495$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=0,06, p=0,808$

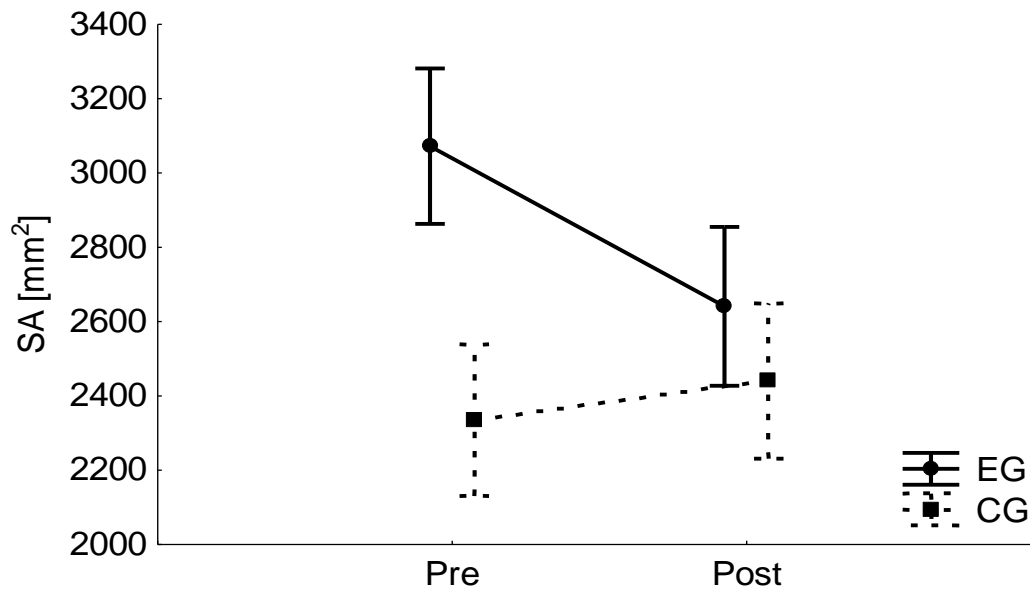


Ryc. 17. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi Y, w pozycji jedno-nóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów



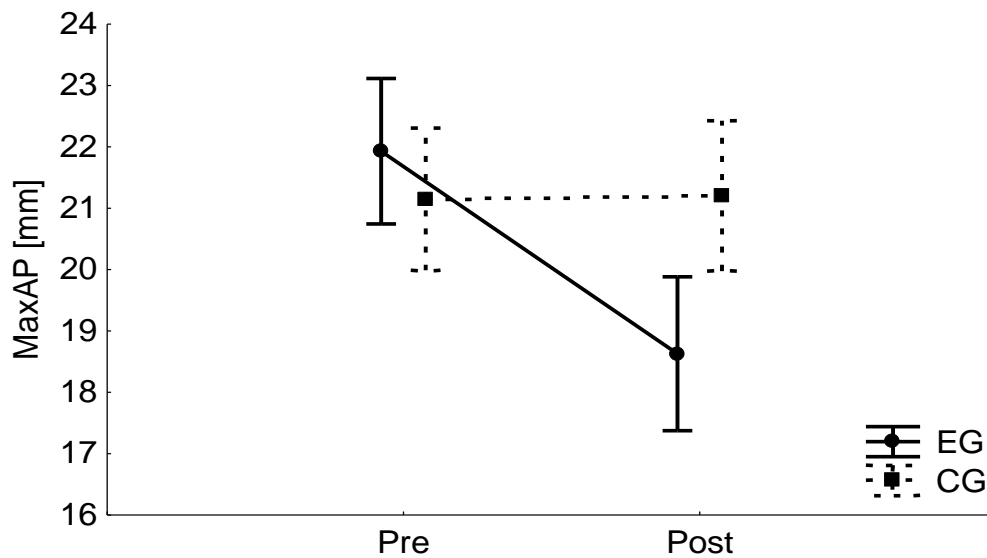
Ryc. 18. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji jedno-nóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=5,91, p=0,020$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=2,18, p=0,148$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=2,92, p=0,095$

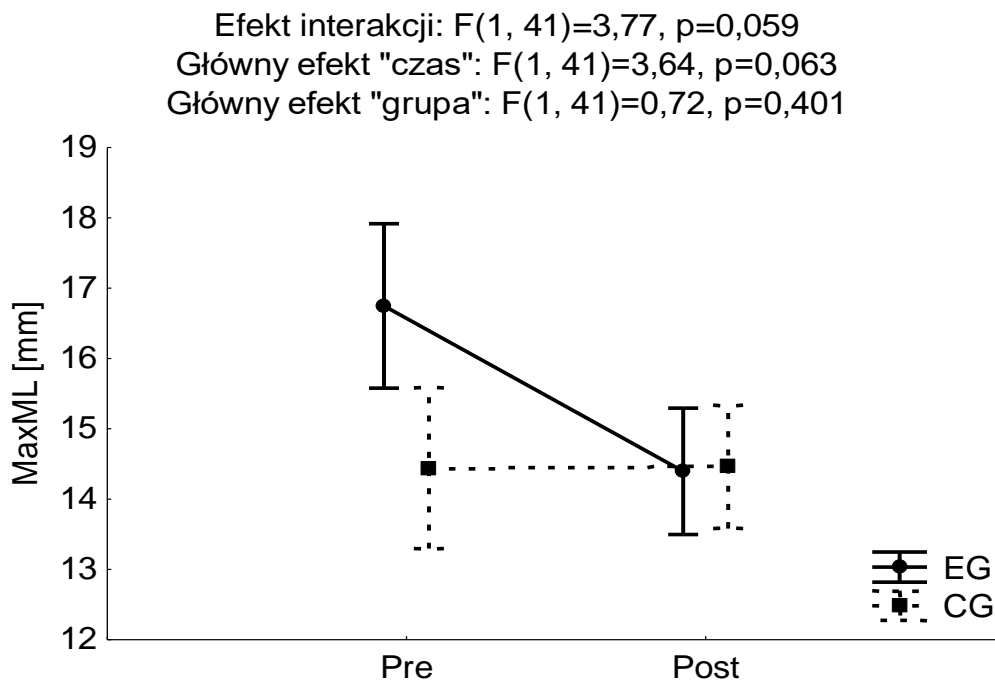


Ryc. 19. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środek nacisku) w pozycji jedno nog z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Efekt interakcji: $F(1, 41)=5,01, p=0,031$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=4,70, p=0,036$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=0,34, p=0,562$



Ryc. 20. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środek nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y, w pozycji jedno nogi z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów



Ryc. 21. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji jedno nogi z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

4.3. Wyniki badania funkcjonalnego mięśni

Przeprowadzona testem niezależności Chi kwadrat analiza wykazała brak statystycznie istotnej zależności pomiędzy wynikami testów funkcjonalnych mięśni a terminem badań, tj. przed zabiegiem operacyjnym i po zabiegu (pre-test, post-test) – $p > 0,05$. Oznacza to, że w przypadku grupy eksperymentalnej zabieg korekcji klatki piersiowej lejkowatej nie wpłynął w widoczny sposób na stan długości mięśni operowanych pacjentów. Szczegółowe wartości statystyk wraz z licznosciami w obrębie grup przedstawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Porównanie wyników testów funkcjonalnych mięśni w grupie eksperymentalnej (n=21) i kontrolnej (n=22) z uwzględnieniem kierunku zmian pomiędzy terminami badań (pre-test, post-test) za pomocą testu niezależności Chi kwadrat

Badany mięsień / test funkcjonalny	Zmiana pre-test, post-test	Grupa				Chi2 (df)	p	V / Fi
		eksperymentalna		kontrolna				
		n	%	n	%			
Pochyły przedni prawy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Pochyły przedni lewy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Pochyły środkowy prawy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Pochyły środkowy lewy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Pochyły tylny prawy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Pochyły tylny lewy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Mostkowo-sutkowo-obojczykowy	bez zmian	19	90,5	22	100	2,20 (2)	0,333	0,23
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Czworoboczny grzbietu prawy	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (2)	0,185	0,28
	poprawa	2	9,5	0	0			

	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Czworoboczny grzbietu lewy	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (2)	0,185	0,28
	poprawa	2	9,5	0	0			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Najszerszy grzbietu	bez zmian	18	85,7	21	95,5	1,54 (2)	0,463	0,19
	poprawa	2	9,5	1	4,6			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Piersiowy większy prawy cz. brzuszna	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Piersiowy większy prawy cz. mostkowo-żebrowa	bez zmian	19	90,5	22	100	2,20 (1)	0,138	-0,23
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	2	9,5	0	0			
Piersiowy większy prawy cz. obojczykowa	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (2)	0,185	0,28
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	2	9,5	0	0			
Piersiowy większy lewy cz. brzuszna	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Piersiowy większy lewy cz. mostkowo-żebrowa	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (2)	0,185	0,28
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	2	9,5	0	0			
Piersiowy większy lewy cz. obojczykowa	bez zmian	18	85,7	21	95,5	2,21 (2)	0,331	0,23
	poprawa	1	4,8	1	4,6			
	pogorszenie	2	9,5	0	0			
Rotatory zewnętrzne stawu barkowego prawe	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Rotatory zewnętrzne stawu barkowego lewe	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Rotatory wewnętrzne stawu barkowego prawe	bez zmian	20	95,2	21	95,5	2,00 (2)	0,367	0,23
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	1	4,6			
Rotatory wewnętrzne stawu barkowego lewe	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Próba Lasegue'a strona prawa	bez zmian	19	90,5	20	90,9	1,34 (2)	0,513	0,18
	poprawa	0	0	1	4,6			
	pogorszenie	2	9,5	1	4,6			
Próba Lasegue'a strona lewa	bez zmian	19	90,5	22	100	2,20 (1)	0,138	-0,23
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	2	9,5	0	0			
Gruszkowaty prawy	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (2)	0,185	0,28
	poprawa	2	9,5	0	0			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			

Gruszkowaty lewy	bez zmian	19	90,5	21	95	0,41 (1)	0,522	0,10
	poprawa	2	9,5	1	4,6			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Test Thompsona strona prawa	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	0	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Test Thompsona strona lewa	bez zmian	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Prosty uda prawy	bez zmian	19	90,5	21	95	1,08 (2)	0,584	0,16
	poprawa	1	4,8	1	5			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Prosty uda lewy	bez zmian	18	85,7	22	100	3,38 (1)	0,066	-0,28
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	3	14,3	0	0			
Przywodziciele prawe	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Przywodziciele lewe	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Biodrowo- lędźwiowy prawy	bez zmian	19	90,5	20	90,9	1,34 (2)	0,513	0,18
	poprawa	0	0	1	4,6			
	pogorszenie	2	9,5	1	4,6			
Biodrowo- lędźwiowy lewy	bez zmian	19	90,5	22	100	2,20 (2)	0,333	0,23
	poprawa	1	4,8	0	0			
	pogorszenie	1	4,8	0	0			
Odwodziciele prawe	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Odwodziciele lewe	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Płaszczkowate	bez zmian	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	1	4,6			
Brzuchaty łydki prawy	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
Brzuchaty łydki lewy	bez zmian	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	1	4,6			
Zębaty przedni	bez zmian	21	100	22	100	0 (0)	1	0
	poprawa	0	0	0	0			
	pogorszenie	0	0	0	0			
	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0

Test draśnięcia Apleya strona prawa	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Test draśnięcia Apleya strona lewa	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Test Matthiasa	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Ekscentryka brzucha	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Objaw wyprzedzania prawy	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Objaw wyprzedzania lewy	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Objaw Piddelou prawy	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Objaw Piddelou lewy	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			
Test kompresyjny	bez zmian	21	100	22	100	0	1	0
	poprawa	0	0	0	0	(0)		
	pogorszenie	0	0	0	0			

V – współczynnik V Cramera, Fi – współczynnik Fi

Porównanie stanu funkcjonalnego mięśni pacjentów z klatką piersiową lejkowatą z osobami zdrowymi z grupy kontrolnej wykazało istotne statystycznie różnice w wynikach 10 testów spośród 47 wykonanych (21,3%). Zaobserwowano międzygrupowe różnice w długości mięśnia piersiowego większego (części brzusznej), rotatorów wewnętrznych stawu barkowego, mięśnia prostego uda, mięśnia biodrowo-lędźwiowego, mięśni odwodzicieli kończyny dolnej oraz mięśnia płaszczkowatego. Różnice dotyczyły mięśni strony lewej i prawej, za wyjątkiem biodrowo-lędźwiowego (tylko lewa strona) oraz mięśni płaszczkowatych, których elastyczność w obu kończynach dolnych oceniana była jednocześnie, co związane jest ze sposobem wykonania testu funkcjonalnego.

Mięśnie piersiowe większe (część obojczykowa po stronie prawej i lewej) były istotnie częściej skrócone w grupie kontrolnej niż w eksperymentalnej (odpowiednio $\chi^2_{(1, N=43)}=4,95$, $p=0,026$, $Fi=0,34$ i $\chi^2_{(1, N=43)}=4,34$, $p=0,037$, $Fi=0,32$). Test ten wykazał, że w grupie kontrolnej

u 45,4% osób stwierdzono skrócenie tego mięśnia po prawej stronie ciała i u 36,4% osób po lewej stronie ciała, podczas gdy w grupie eksperymentalnej odsetek ten wynosił 14,3% po prawej stronie i 9,5% po przeciwnej stronie ciała. Rotatory wewnętrzne stawów barkowych (prawego i lewego) były skrócone istotnie rzadziej u badanych z grupy eksperymentalnej w porównaniu z badanymi z grupy kontrolnej (odpowiednio $\chi^2_{(1, N=43)}=5,56$, $p=0,018$, $Fi=0,36$ i $\chi^2_{(1, N=43)}=6,89$, $p=0,009$, $Fi=0,40$). Wynik testu długości tych mięśni w obrębie prawego i lewego stawu barkowego był dodatni (obserwowano skrócenie mięśni) u 9,5% osób z grupy eksperymentalnej, podczas gdy w grupie kontrolnej odsetek ten wynosił 40,9% dla prawej strony i 45,4% badanych dla lewej. Mięśnie proste uda miały istotnie rzadziej zaburzoną długość u badanych z grupy eksperymentalnej niż z grupy kontrolnej, zarówno po stronie prawej, jak i lewej (odpowiednio $\chi^2_{(1, N=43)}=9,54$, $p=0,002$, $Fi=0,47$ i $\chi^2_{(1, N=43)}=13,19$, $p<0,001$, $Fi=0,55$). W grupie eksperymentalnej obserwowano skrócony mięsień prawej kończyny dolnej u 47,6% badanych, a u 38,1% w lewej, podczas gdy w grupie kontrolnej odsetek ten dla obu kończyn wynosił 90,9%. W przypadku długości mięśnia biodrowo-lędźwiowego lewej kończyny dolnej wykazano, że był on istotnie rzadziej skrócony u badanych z grupy eksperymentalnej (38,1%) niż z grupy kontrolnej (77,3%) – $\chi^2_{(1, N=43)}=6,78$, $p=0,009$, $Fi=0,40$. Skrócenie mięśnia po stronie prawej obserwowano także rzadziej w grupie badanej niż w kontrolnej, chociaż różnica nie była istotna statystycznie ($\chi^2_{(1, N=43)}=0,19$, $p=0,663$, $Fi=0,07$). Grupa mięśni odwodzicieli po stronie prawej i lewej także była istotnie częściej skrócona wśród badanych z grupy kontrolnej niż z grupy eksperymentalnej, odpowiednio $\chi^2_{(1, N=43)}=9,38$, $p=0,002$, $Fi=0,47$ i $\chi^2_{(1, N=43)}=7,98$, $p=0,005$, $Fi=0,43$. Stwierdzono skrócenie tych mięśni po stronie prawej u 36,4% badanych z grupy kontrolnej i u 31,8% po stronie lewej. U żadnej z badanych osób z grupy eksperymentalnej mięśnie te nie były skrócone. Mięśnie płaszczkowe również były istotnie częściej skrócone u badanych z grupy kontrolnej (36,4%) niż z grupy eksperymentalnej (9,5%) – $\chi^2_{(1, N=43)}=4,34$, $p=0,037$, $Fi=0,32$. Badani z obu grup różnili się pod względem stanu funkcjonalnego również innych mięśni, jednak obserwowane różnice międzygrupowe nie były statystycznie istotne. Dane ilościowe i wyniki statystyk dotyczące wszystkich testowanych mięśni zawarto w tabeli 7.

Tab. 7. Porównanie wyników testów funkcjonalnych mięśni pomiędzy pacjentami z klatką piersiową lejkowatą (n=21) a zdrowymi osobami z grupy kontrolnej (n=22). Kolumny zawierające dane liczebności i odsetka badanych (opisane odpowiednio „n” i „%”) odnoszą się do liczby osób z negatywnym wynikiem testu funkcjonalnego, co oznacza wynik mieszczący się w normie

Badane mięśnie / test funkcjonalny	Gr. eksperymentalna		Gr. kontrolna		Chi2 (df)	p	Fi
	n	%	n	%			
Pochyły przedni prawy	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Pochyły przedni lewy	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Pochyły środkowy prawy	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Pochyły środkowy lewy	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Pochyły tylny prawy	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Pochyły tylny lewy	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
Mostkowo-sutkowo- obojczykowy	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
Czworoboczny grzbietu prawy	18	85,7	22	100	3,38 (1)	0,066	-0,28
Czworoboczny grzbietu lewy	18	85,7	22	100	3,38 (1)	0,066	-0,28
Najszerszy grzbietu	12	57,1	17	77,3	1,10 (1)	0,159	-0,21
Piersiowy większy prawy cz. brzuszna	20	95,2	18	81,8	1,88 (1)	0,170	0,21
Piersiowy większy prawy cz. mostkowo-żebrowa	21	100	19	86,4	3,08 (1)	0,079	0,27
Piersiowy większy prawy cz. obojczykowa	18	85,7	12	54,6	4,95 (1)	0,026	0,34
Piersiowy większy lewy cz. brzuszna	20	95,2	18	81,8	1,88 (1)	0,170	0,21
Piersiowy większy lewy cz. mostkowo-żebrowa	20	95,2	19	86,4	1,00 (1)	0,317	0,15
Piersiowy większy lewy cz. obojczykowa	19	90,5	14	63,6	4,34 (1)	0,037	0,32
Rotatory zewnętrzne stawu barkowego prawe	20	95,2	19	86,4	1,00 (1)	0,317	0,15
Rotatory zewnętrzne stawu barkowego lewe	20	95,2	20	90,9	0,31 (1)	0,578	0,08
Rotatory wewnętrzne stawu barkowego prawe	19	90,5	13	59,1	5,56 (1)	0,018	0,36

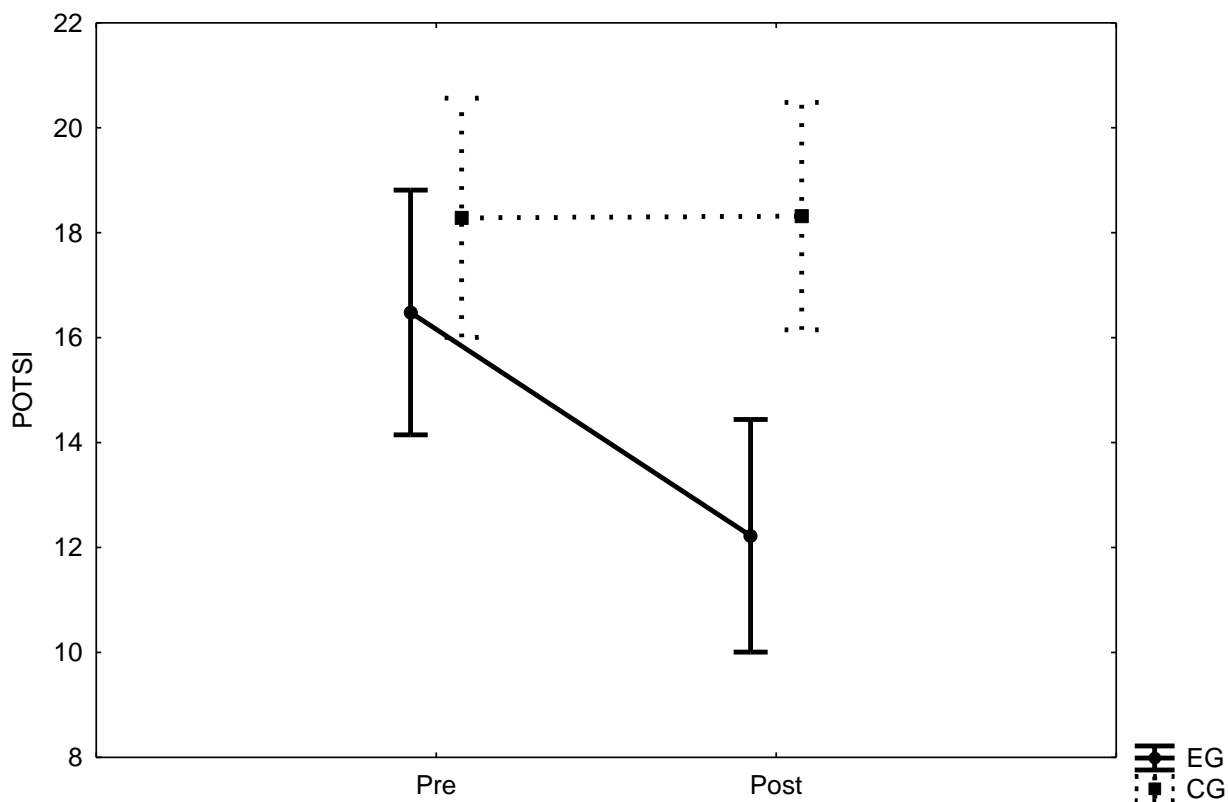
Rotatory wewnętrzne stawu barkowego lewe	19	90,5	12	54,6	6,89 (1)	0,009	0,40
Próba Lasegue'a strona prawa	8	38,1	6	27,3	0,57 (1)	0,449	0,12
Próba Lasegue'a strona lewa	8	38,1	5	22,7	1,20 (1)	0,273	0,17
Gruszkowaty prawy	16	76,2	12	54,6	2,22 (1)	0,137	0,23
Gruszkowaty lewy	13	61,9	8	36,4	2,81 (1)	0,094	0,26
Test Thompsona strona prawa	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Test Thompsona strona lewa	20	95,2	21	95,5	0,01 (1)	0,973	-0,005
Prosty uda prawy	11	52,4	2	9,1	9,55 (1)	0,002	0,47
Prosty uda lewy	13	61,9	2	9,1	13,19 (1)	0,000	0,55
Przywodziciele prawe	20	95,2	22	100	1,07 (1)	0,300	-0,16
Przywodziciele lewe	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Biodrowo-lędźwiowy prawy	9	42,9	8	36,4	0,19 (1)	0,663	0,07
Biodrowo-lędźwiowy lewy	13	61,9	5	22,7	6,78 (1)	0,009	0,40
Odwodziciele prawe	21	100	14	63,6	9,38 (1)	0,002	0,47
Odwodziciele lewe	21	100	15	68,2	7,98 (1)	0,005	0,43
Płaszczkowate	19	90,5	14	63,6	4,34 (1)	0,037	0,32
Brzuchaty łydki prawy	5	23,8	3	13,6	0,73 (1)	0,392	0,13
Brzuchaty łydki lewy	6	28,6	4	18,2	0,65 (1)	0,420	0,12
Zębaty przedni	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Test draśnięcia Apleya strona prawa	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Test draśnięcia Apleya strona lewa	21	100	22	100	0 (0)	1	0
Test Matthiasa	21	100	20	90,9	2,00 (1)	0,157	0,22
Ekscentryka brzucha	18	85,7	19	86,4	0,004 (1)	0,951	-0,009

Objaw wyprzedzania prawy	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
Objaw wyprzedzania lewy	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
Objaw Piddelou prawy	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
Objaw Piddelou lewy	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15
Test kompresyjny	21	100	21	95,5	0,98 (1)	0,323	0,15

4.4. Wyniki pomiarów symetrii tułowia

Wyniki analizy wariancji dla powtarzanych pomiarów wskaźnika symetrii tułowia POTSI przedstawiono na rycinie 22. Średnia wartości wskaźnika wynosiła w grupie eksperymentalnej $16,48 \pm 9,38$ w pierwszym terminie badań i $12,22 \pm 8,02$ po zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa. W grupie eksperymentalnej wartość wskaźnika wyniosła $18,29 \pm 11,80$ (pre-test) i $18,32 \pm 11,86$ (post-test). Stwierdzono istotny efekt interakcji między czasem pomiaru (pre-test i post-test) i rodzajem grupy (eksperymentalna i kontrolna) – „czas” \times „grupa” ($F_{(1,41)}=48,23$, $p=0,034$, $\eta^2=0,11$). Wykorzystując analizę post-hoc testem Bonferroniego wykazano istotnie niższe wartości wskaźnika POTSI po zabiegu (post-test) niż przed zabiegiem (pre-test) ($p=0,024$). Zaobserwowano również główny efekt „czasu” dla tego wskaźnika ($F_{(1,41)}=4,68$, $p=0,036$, $\eta^2=0,10$). Obserwacje te wskazują na korzystny wpływ zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa w zakresie symetrii tułowia w płaszczyźnie czołowej.

Efekt interakcji: $F(1, 41)=4,8232, p=0,03379$
Główny efekt "czas": $F(1, 41)=4,6812, p=0,03637$
Główny efekt "grupa": $F(1, 41)=1,7005, p=0,19949$



Ryc. 22. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika symetrii tułowia POTSI w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

5. Dyskusja

Zabieg korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa przynosi pacjentom poprawę, szczególnie w zakresie funkcjonowania płuc i serca, co przekłada się na lepszą tolerancję wysiłku. Ponadto zabieg zwiększa u nich poczucie własnej wartości. Wielu badaczy wskazuje jednak na niejednoznaczne dane dotyczące efektów operacji (Del Frari i in., 2021; Fesenko & Myhal, 2021; Jayaramakrishnan i in., 2013). Główną przyczyną sprzecznych obserwacji jest moment badania pacjentów, czyli różny czas, jaki upłynął od momentu wprowadzenia (lub usunięcia) metalowych płytek do klatki piersiowej. Zaobserwowano, że wczesna faza pooperacyjna może wiązać się z obniżeniem parametrów oddechowych, które z biegiem czasu ulegają poprawie, zwłaszcza po usunięciu płytek (Jayaramakrishnan i in., 2013). Pierwsze trzy miesiące po zabiegu korekcji (faza 1) to okres rekonwalescencji, wzmożonego bólu (zwłaszcza w pierwszych tygodniach), a w konsekwencji ograniczenie aktywności fizycznej. Może to mieć kluczowe znaczenie dla obniżenia u pacjentów poddawanych zabiegowi wielu parametrów fizjologicznych, nie tylko krążeniowo-oddechowych, ale także pracy ich mięśni, co również może mieć wpływ na stabilność posturalną. Po 3-5 miesiącach od operacji możliwy jest stopniowy powrót do pełnej aktywności fizycznej (Iida i in., 2009; Luu i in., 2009). Zatem wyników 1 fazy i 2 fazy pooperacyjnej nie można rozpatrywać łącznie.

W prezentowanych badaniach pacjentów badano przed zabiegiem operacyjnym i trzy miesiące po zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa, a więc w pierwszej fazie pooperacyjnej. Stwierdzono, że stabilność posturalna pacjentów z klatką piersiową lejkowatą pogarsza się po leczeniu chirurgicznym, na co wskazują wyższe średnie parametrów mierzących prędkość przemieszczeń COP oraz wskaźników przestrzennego rozkładu przemieszczeń COP. Zaobserwowano istotny statystycznie wpływ czasu (co wskazuje na różnice między pierwszym i drugim terminem badań, tj. pre-test a post-test) w przypadku maksymalnego przemieszczenia COP w płaszczyźnie czołowej (MaxML) i strzałkowej (MaxAP) oraz prędkości przemieszczeń COP w płaszczyźnie strzałkowej (VavgAP) w stanie obunóż z oczami otwartymi. Przy zamkniętych oczach wyniki były podobne, chociaż nie odnotowano ani równie silnych, ani znaczących efektów.

Odmienne wyniki uzyskano w teście stania na jednej kończynie dolnej z otwartymi oczami. Z jednej strony, porównując wyniki przed i po interwencji chirurgicznej, nie potwierdzono istotnego spadku stabilności posturalnej. Z drugiej strony, w przypadku parametrów przestrzennego rozkładu przemieszczeń COP (SA, MaxAP i MaxML) zaobserwowano niższe wartości średnie po zabiegu i choć różnice nie były istotne statystycznie, zaobserwowano tendencję odwrotną niż w przypadku prób obunóż. Być może miała na to wpływ sztywność mięśni, która wzrasta wraz ze wzrostem ryzyka upadku. Wiadomo, że sztywność obejmująca obszar tułowia, zwiększa prawdopodobieństwo utraty równowagi (Edwards, 2007; Grüneberg i in., 2004; Lang & Kearney, 2014). Można przypuszczać, że pacjentom po operacji towarzyszy większy strach przed upadkiem, co wiąże się z większym bólem i niepewnością czucia własnego ciała w tym czasie. Może to skutkować większą mobilizacją podczas trudnej próby stania na jednej kończynie dolnej. Wymaga to jednak dalszych badań, rozszerzonych o inne pomiary, takie jak testy elektromiograficzne.

Chcąc w pełni rozpoznać problem wpływu zabiegu chirurgicznego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na stabilność posturalną poddawanych temu zabiegowi osób w protokole badawczym zaplanowano dodatkowe pomiary dotyczące stanu funkcjonalnego mięśni oraz symetrii tułowia. Uznano, że otrzymane w ten sposób dane pozwolą szerzej spojrzeć na charakter ewentualnych zmian w zakresie stabilności badanych. Z jednej strony wiadomo, że stan aparatu ruchu, w tym między innymi elastyczność mięśni, a także obecność i nasilenie wszelkiego rodzaju deformacji i asymetrii ciała mogą mieć znaczenie dla stabilności posturalnej (Dalleau i in., 2007; Dąbrowska i in., 2020; Lanthier i in., 2020). Z drugiej zaś strony, niewiele wiadomo o tym, na ile zabieg operacyjny o niewielkiej inwazyjności dotyczący przedniej ściany klatki piersiowej może wpłynąć na te parametry. W przypadku stanu funkcjonalnego mięśni nie zaobserwowano istotnych zmian w żadnym z kierunków (poprawa lub pogorszenie) w odniesieniu do wszystkich testowanych mięśni. Nawet w przypadku mięśni zlokalizowanych w obrębie klatki piersiowej, a więc w rejonie, co do którego można było oczekiwać istotnych zmian będących efektem zabiegu chirurgicznego, nie stwierdzono istotnych różnic w zakresie ich stanu funkcjonalnego pomiędzy terminami badań. Taki wynik może oznaczać, że zabieg korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa jest w istocie na tyle mało inwazyjny, że nie wpływa w sposób zauważalny na stan mięśni szkieletowych operowanych. Nacięcia dokonywane w bocznej części klatki piersiowej w celu wprowadzenia

płytek korygujących jej kształt mają niewielkie rozmiary i podczas ich wykonywania nie dochodzi do przecinania i uszkodzania włókien mięśniowych na większą skalę. Niewielka inwazyjność metody Nussa, która przekłada się na dobre rokowania po zabiegu, jest jednym z najistotniejszych czynników wpływających na częstość jej stosowania. Metoda ta w ostatnich dekadach zyskała miano złotego standardu korekcji klatki piersiowej lejkowatej (David, 2022; Janssen i in., 2024). Testy funkcjonalne prowadzone w kierunku sprawdzenia m.in. długości mięśni, mimo iż część z nich przebiega z wykorzystaniem narzędzi pomiarowych (goniometru), należy uznać za ocenę subiektywną. W przypadku tych badań, wszystkie testy, w obu terminach badań prowadzone były w tych samych warunkach i tylko przez jedną osobę ze znacznym doświadczeniem w stosowaniu wykorzystanych testów (autorkę niniejszego opracowania). Pozwoliło to na istotne ograniczenie ryzyka wystąpienia błędów pomiarowych, ale przede wszystkim zapewniło pełną porównywalność uzyskanych wyników. Dyskusję dotyczącą porównania wyników w zakresie stanu funkcjonalnego mięśni szkieletowych między osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi zawarto w dalszej części rozdziału.

Symetrię tułowia w płaszczyźnie czołowej jako kolejny z analizowanych elementów w przyjętym modelu badawczym, badano z wykorzystaniem wskaźnika opartego o pomiary topografii ciała. Wskazuje się na dużą czułość wskaźników topograficznych i tym samym ich przydatność do wykrywania asymetrii i deformacji ciała. Sugeruje się stosowanie tego typu wskaźników np. w ocenie progresji skoliozy (Kotwicki i in., 2008; Parent i in., 2010). Wysoka czułość, z punktu widzenia badań opisywanych w tej pracy, jest elementem istotnym, który może umożliwić wychwycenie nawet niewielkich zmian symetrii tułowia pojawiających się w wyniku wykonania zabiegu korekcji wady klatki piersiowej. Złotym standardem w diagnostyce skrzywień kręgosłupa jest badanie radiologiczne umożliwiające wyliczenie kąta Cobba, co czynione może być ręcznie na podstawie zdjęcia rentgenowskiego lub z zastosowaniem algorytmów oprogramowania komputerowego, a nawet metod uczenia głębokiego (Jin i in., 2022). Zastąpienie pomiaru wykonanego z wykorzystaniem metod radiologicznych, topograficznymi pomiarami powierzchniowymi nie zawsze jest możliwe w pełnym zakresie, ale istnieje wiele dowodów na korelację wyników osiągniętych tymi dwiema różnymi metodami (Frerich i in., 2012; Navarro i in., 2019; Pasha i in., 2021; Pino-Almero i in., 2017). Nie bez znaczenia jest możliwość uniknięcia kolejnych dawek szkodliwego

promieniowania jonizującego stosując metody topograficzne zamiast rentgenowskich, szczególnie w sytuacji, gdy konieczne jest wykonywanie wielu pomiarów w ramach monitorowania zmian w zakresie analizowanej deformacji lub wady postawy.

W prezentowanych badaniach zdecydowano się na wybór wskaźnika POTSI ze względu na jego porządkujący i upraszczający charakter w analizie deformacji ciała. Może on bowiem zastąpić wiele innych parametrów stosowanych w ocenie postawy ciała, takich jak: różnica wysokości trójkątów talii, różnica szerokości trójkątów talii, kąt linii ramion prawego i lewego, różnice położenia łopatek, kąt nachylenia tułowia, kąt nachylenia linii barków, współczynnik asymetrii barków względem S1 i względem C7 (Kotwicki i in., 2008). Porównanie pod względem wartości wskaźnika POTSI badanych z grupy eksperymentalnej przed i po zabiegu metodą Nussa wykazało poprawę symetrii tułowia w płaszczyźnie czołowej. Należy zauważyć, że przed zabiegiem wartość indeksu POTSI nie wykraczała poza zakres fizjologicznej normy, tj. powyżej wartości 27 (Suzuki i in., 1999). Średnia dla grupy eksperymentalnej wynosiła 16,48 przed i spadła do 12,22 po zabiegu. Wyniki te wskazują na brak istotnych zaburzeń w obrębie kręgosłupa i pleców w płaszczyźnie czołowej, co jest informacją ważną, bowiem eliminuje potencjalny wpływ takich zaburzeń na stabilność posturalną badanych. Korygujący efekt zabiegu Nussa na symetrię tułowia w płaszczyźnie czołowej nie jest duży, jednak zauważalny, a różnica jest istotna statystycznie. Brakuje wcześniejszych badań określających wpływ zabiegu korekcji przedniej ściany klatki piersiowej na symetrię tułowia. Utrudnia to wyciągnięcie mocnych wniosków w tym zakresie w oparciu o jedno tylko badanie. Można próbować interpretować otrzymany wynik przez pryzmat polepszenia się samooceny badanych wynikającej z lepszego postrzegania własnego ciała (Mohamed i in., 2023; Norlander i in., 2022). Ten aspekt nie był analizowany w tych badaniach, jednak obserwacje poczynione podczas obu terminów badań w tym zakresie wskazują na zdecydowaną różnicę w pewności siebie, co przekładało się na poprawę sylwetki. Oczywiście bez pogłębionych analiz powyższa interpretacja ma jedynie charakter spekulatywny, może jednak wskazywać problem wart zgłębienia w przyszłych badaniach.

W świetle powyższych wyników należy uznać, że w tym badaniu zarówno stan funkcjonalny mięśni szkieletowych, jak i symetria tułowia badanych z grupy eksperymentalnej nie miały istotnego znaczenia dla pogorszenia stabilności posturalnej wywołanego zabiegiem korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa. Zaobserwowane pogorszenie stabilności

w próbach prowadzonych w staniu na dwóch kończynach dolnych może mieć przyczyny w zmianie morfologii przedniej ściany klatki piersiowej, jak również może być związane z obecnością metalowych płytek w tym rejonie ciała. Wiadomo, że dodatkowe obciążenie wpływa na stabilność posturalną. Analizowano ten problem wielokrotnie w odniesieniu do ciężaru i sposobu noszenia plecaka lub torby (Dahl i in., 2016; Li i in., 2019; Rodrigues i in., 2018). Badania te jednak dotyczyły znacznie większego ciężaru niż ten, który związany jest z obecnością płytki lub płytek w klatce piersiowej. W zależności od rozmiaru płytka waży zazwyczaj między 53 a 96 g (Park i in., 2016), co jest w przypadku badanych z grupy eksperymentalnej równoważne 1-1,5% ich masy ciała (w przypadku jednej płytki). W literaturze przedmiotu nie znaleziono analizy wpływu tak niewielkich dodatkowych obciążeń na stabilność posturalną. Nie brakuje natomiast doniesień o związku masy ze stabilnością posturalną, a także związku pomiędzy zmianami w zakresie tych parametrów (kwestia wpływu masy ciała i BMI na stabilność posturalną dyskutowana jest w dalszej części rozdziału). Interesujące badania prowadzono odnośnie zmian w zakresie stabilności posturalnej pacjentów poddanych zabiegowi bariatrycznemu, gdzie pojawiała się kwestia różnic w masie ciała przed i po zabiegu chirurgicznym. Ustalono, że przed operacją otyli pacjenci z wyższym BMI wykazali lepszą kontrolę postawy. Po zabiegu długość ścieżki COP i oscylacja przednio-tylna poprawiły się w warunkach otwartych oczu, podczas gdy wielkość utraty masy ciała była ujemnie skorelowana z różnicami w kontroli postawy (Bullo i in., 2022). W innym badaniu nie stwierdzono znaczących różnic w zakresie wahań COP i średniej prędkości COP przed operacją bariatryczną i 4 miesiące po niej (Cibulková i in., 2022). Są to jednak wstępne badania, dające niejednoznaczne wyniki, stąd podnoszona przez autorów konieczność prowadzenia dalszych dociekań w tym zakresie.

Efekt zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa na stabilność posturalną należy uwzględnić w trakcie rekonwalescencji pooperacyjnej. Jej lepszy przebieg zapewnia odpowiednio dobrana fizjoterapia. Szczególnie w pierwszej fazie po zabiegu zaleca się uwzględnić ćwiczenia i opiekę fizjoterapeutyczną. Wzmocnienie mięśni tułowia (z zachowaną równowagą między antagonistami) poprawia postawę ciała i ogólny stan organizmu, zwłaszcza w obszarze dokonanej korekcji (Dematos i in., 1997). Goretsky i wsp. (2004) twierdzą, że programy ćwiczeń są równie ważne jak sama operacja, jeśli chodzi o osiągnięcie pełni fizjologicznej funkcjonalności klatki piersiowej i związanej z nią pełnej

sprawności, głównie w odniesieniu do wydolności aerobowej (Goretsky, 2004). Przy opracowywaniu programu rehabilitacji należy wziąć pod uwagę obniżoną stabilność posturalną w pierwszej fazie po operacji, ponieważ fizjologiczny wpływ intensywnej aktywności fizycznej jest również odpowiedzialny za szereg skutków ostrego zmęczenia układu neuromotorycznego, które mogą niekorzystnie wpływać na kontrolę postawy ciała (Ku i in., 2012). U osób zdrowych, zachowujących prawidłową równowagę nie stanowi to problemu, jednak u pacjentów z gorszą stabilnością posturalną, podobnie jak u pacjentów w pierwszej fazie po zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej, konieczne jest wprowadzenie takich ćwiczeń i terapii, które zniwelują negatywne skutki obniżonej stabilności.

Porównując stabilność posturalną pacjentów z klatką piersiową lejkowatą z grupą kontrolną, na ogół obserwowano wyższe wartości wskaźników stabilności posturalnej u tych pierwszych. Zarówno parametry mierzące prędkość przemieszczenia COP (Vavg, VavgAP i VavgML), jak i rozkład przestrzenny przemieszczenia COP (SA) osiągnęły istotnie wyższe średnie wartości w grupie eksperymentalnej niż w grupie kontrolnej (pomiaru wykonywane przed zabiegiem chirurgicznym – pre-test). Dotyczy to zarówno wyników badania obunóż z otwartymi oczami, jak i zamkniętymi oczami. W przypadku pozycji jednoonóż wszystkie analizowane wskaźniki stabilności posturalnej, poza VavgAP, były średnio wyższe w grupie eksperymentalnej, natomiast istotną różnicę pomiędzy grupą eksperymentalną a kontrolną (pre-test) zaobserwowano jedynie dla średnich wartości parametru VavgML. Wyniki porównania pomiarów stabilności posturalnej oznaczają, że pacjenci z klatką piersiową lejkowatą charakteryzują się większym przemieszczaniem COP lub wahaniami postawy w pozycji stojącej, a co za tym idzie gorszą stabilnością niż osoby zdrowe z grupy kontrolnej. Różnice między obiema grupami mogą wynikać z kilku kwestii. Jedną z nich jest morfologia ciała. Różnica między pacjentami z klatką piersiową lejkowatą a grupą kontrolną pod względem podstawowych charakterystyk somatycznych polegała na istotnie niższej masie ciała przy podobnej wysokości ciała. Przekłada się to na znacząco niższe BMI osób z wadą klatki piersiowej. Nie jest to zaskakujące, ponieważ klatka piersiowa lejkowata często wiąże się z asteniczną budową ciała (Nuss & Kelly, 2009). Wcześniejsze doniesienia na temat związku pomiędzy BMI a stabilnością posturalną nie dają jednoznacznych wyników. Z jednej strony stwierdzono, że kontrola postawy jest ujemnie skorelowana z poziomem otyłości, ponieważ wyniki w grupie osób otyłych BMI są znacznie gorsze w porównaniu do grup z niedowagą,

prawidłową masą ciała i nadwagą podczas stania na dwóch i jednej kończynie dolnej (Ku i in., 2012) – podobne wyniki uzyskiwali również inni badacze (Greve i in., 2007; Hamilton i in., 2015; Hue i in., 2007; Pagnotti i in., 2020). Z kolei w badaniu Błaszczyka i wsp. (2009) u cięższych pacjentów zaobserwowano znaczną redukcję wahań postawy. Główne parametry wahań postawy, tj. całkowita długość drogi COP i jej składowe kierunkowe, były ujemnie skorelowane z masą ciała i BMI (Błaszczyk i in., 2009). Można przypuszczać, że na stabilność posturalną wpływ ma nie tylko wartość wskaźnika BMI, ale wiele czynników antropometrycznych. Ich interakcja, która będzie dawać odmienne rezultaty w przypadku osób bardzo szczupłych i otyłych, niskich i wysokich, przekłada się także na różnice w stabilności posturalnej pomiędzy nimi. W stanach, którym towarzyszy zmiana masy ciała, czynniki mięśniowo-szkieletowe wydają się odgrywać główną rolę w obniżeniu stabilności posturalnej. Wydaje się to być związane z wahaniami masy ciała, a nie z bezwzględnymi wartościami BMI, na co wskazują wyniki badań pacjentów z bulimią. Natomiast u pacjentek z anoreksją nie stwierdzono wyraźnej niestabilności postawy w porównaniu do osób zdrowych (Fontana i in., 2009). Alonso i wsp. (2015) odkryli, że kontrola postawy zależy z jednej strony od składu ciała, ale także od wymiarów ciała, a w tej relacji pośredniczą informacje sensoryczne. Wykazali, że wysokość ciała jest tą zmienną antropometryczną, która ma największy wpływ na wahania postawy (Alonso i in., 2015). Jednak w prezentowanych w tej pracy badaniach osoby z grupy eksperymentalnej i kontrolnej miały podobną wysokość ciała, więc inne czynniki miały kluczowe znaczenie dla różnicy między grupami.

Upośledzenie funkcji mięśni związane z nieprawidłową budową przedniej ściany klatki piersiowej u pacjentów z klatką piersiową lejkowatą przekłada się nie tylko na pogorszenie mechaniki oddechowej, ale może również wpływać na stabilność posturalną. Wiadomo, że w kontroli postawy biorą udział jednocześnie wszystkie mięśnie oddechowe (Hodges & Gandevia, 2000; Massery i in., 2013). Dotyczy to w zasadzie wszystkich mięśni, które mają przyczepy początkowe lub końcowe w obrębie tułowia. Oznacza to, że siły zewnętrzne i wewnętrzne, które wpływają na funkcję mięśni oddechowych, będą również wpływać na reakcje posturalne (Massery i in., 2013). W tej pracy wykazano, że elastyczność mięśni, takich jak mięsień piersiowy większy i rotatory wewnętrzne stawów ramiennych, była większa u osób z klatką piersiową lejkowatą, bowiem znacznie częściej skrócenie tych mięśni obserwowano wśród osób z grupy kontrolnej. Statystycznie istotne różnice zaobserwowano w odniesieniu

do części obojczykowej mięśnia piersiowego większego (prawego i lewego). Pozostałe części mięśnia piersiowego większego, tj. mostkowo-żebrowa i brzuszna również były częściej skrócone w grupie kontrolnej niż eksperymentalnej, jednak różnice nie były istotne statystycznie. Wynik ten mógłby być uznany za zaskakujący, gdyż obserwując chłopców z klatką piersiową lejkowatą można było spodziewać się przewagi w skróceniu tych mięśni w grupie badanej, jednak wcześniej podobne wyniki przedstawili Schoenmakers i wsp. (2000). U żadnego z 16 zbadanych pacjentów z klatką piersiową lejkowatą nie stwierdzili oni skrócenia mięśni piersiowych oraz osłabienia mięśni górnej części tułowia. Odsetek osłabionych mięśni odcinka piersiowego kręgosłupa oraz brzucha w tych samych badaniach wynosił 29%. Z drugiej strony, w populacji osób bez wad postawy skrócenie mięśni piersiowych większych jest często obserwowane (Rakowski, 2011; Schoenmakers i in., 2000).

Podobnie jak mięśnie piersiowe większe, rotatory wewnętrzne obu stawów ramiennych były częściej skrócone u badanych z grupy kontrolnej niż z grupy eksperymentalnej. Podczas prowadzonych testów długości mięśni rotatorów wewnętrznych i zewnętrznych stawów ramiennych chłopców z klatką piersiową lejkowatą zwrócono uwagę na bardzo rzadkie występowanie zaburzeń polegających na ograniczeniu ruchomości tych stawów. Nie stwierdzono istotnych ograniczeń, które mogłyby być tłumaczone wysuniętymi barkami ku przodowi u tych osób w wyniku zgarbionej postawy ciała, czy też w wyniku zniekształcenia klatki piersiowej lub astenicznej budowy ciała.

Mięsień biodrowo-łędźwiowy w obu grupach, eksperymentalnej i kontrolnej, był w wielu przypadkach znacznie skrócony, jednak istotnie częściej u badanych z grupy kontrolnej w odniesieniu do lewej kończyny dolnej. Mięsień ten, będący najsilniejszym zginaczem stawu biodrowego był również w większości przypadków skrócony w losowej populacji dzieci szkolnych badanych przez Kanię-Gudzio i Wiernicką w 2002 roku, chociaż należy zauważyć, że do oceny elastyczności mięśnia biodrowo-łędźwiowego wykorzystano tam inny test. Na 74 chłopców w wieku 13-15 lat 59,4% miało skrócony mięsień biodrowo-łędźwiowy w prawej kończynie dolnej, a 41,9% w lewej. Inni badacze również stwierdzali skrócenie wyżej wymienionych mięśni w swoich badaniach, np. Jorgensson zbadał 60 młodych osób płci męskiej i u 33% wykrył ich zmniejszoną elastyczność (Jorgensson, 1993). Mięśnie biodrowo-łędźwiowe uznaje się za podstawowe stabilizatory lędźwiowej części kręgosłupa. Ich skrócenie wiąże się z występowaniem zwiększonej lordozy lędźwiowej. Ponadto może również

powodować wzrost mobilności w okolicy przejścia piersiowo-lędźwiowego i górnych segmentów lędźwiowych, jako reakcja kompensacyjna (Juker i in., 1998; Rakowski, 2011).

Diagnozowane tym samym testem różnicowania mięśnie proste uda i odwodźciele były skrócone w obu grupach, eksperymentalnej i kontrolnej, choć w tej drugiej istotnie częściej. Pojawia się zatem ponownie pytanie, czy bliższy fizjologicznemu zakres ruchu może paradoksalnie wpływać na pogorszenie stabilności posturalnej osób z klatką piersiową lejkowatą? Przyczyny zaburzeń elastyczności tych mięśni mogą być różne, jednak najistotniejsza wydaje się niestabilność statyczna mięśni wynikająca z hiperlordozy lędźwiowej, która z kolei może powstać wskutek powiększonej kifozy piersiowej (Rakowski, 2011). W prezentowanych badaniach danych na temat głębokości fizjologicznych krzywizn kręgosłupa nie gromadzono, dlatego wnioskowanie w tym zakresie obarczone byłoby dużym ryzykiem. Kwestią, która może mieć znaczenie w kontekście większej elastyczności wybranych elementów aparatu ruchu u osób z klatką piersiową lejkowatą jest prawdopodobne występowanie kojarzonych z tą wadą zaburzeń w budowie tkanki łącznej. Opisano grupę dziedzicznych zaburzeń wpływających na białka macierzy tkanki łącznej, takie jak kolageny, proteoglikany, elastyny, fibryliny i lamininy. Nie wszystkie zaburzenia prowadzą do rozwoju pełnoobjawowych zespołów, takich jak zespół Sticklera, zespół Ehlersa-Danlosa, rodzinny zespół nadmiernej ruchomości stawów, dysplazja szkieletowa z dominującą wiotkością stawów i inne (przegląd badań w Tocchioni i in., 2013). Być może w wyniku ekspresji wybranych wariantów genetycznych łagodniejsza postać zaburzeń tkanki łącznej prowadząca do pojawienia się wady przedniej ściany klatki piersiowej prowadzi również do zwiększonej elastyczności mięśni i zwiększonej ruchomości w stawach. Jest to spekulacyjna hipoteza postawiona na podstawie doniesień o częstości występowania zaburzeń tkanki łącznej u osób z klatką piersiową lejkowatą, jak również w oparciu o stawiane tezy, iż zaburzenia te mogą być jednym z czynników etiologicznych wad przedniej ściany klatki piersiowej (N. Janssen i in., 2024; Tocchioni i in., 2013). Zagadnienie to jest niezwykle interesujące jednak wymaga dalszych, pogłębionych badań.

Kolejną różnicą między pacjentami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi, która może wpływać na stabilność posturalną, jest nieprawidłowa postawa ciała. Wada klatki piersiowej lejkowatej wiąże się z towarzyszącą hiperkifozą piersiową, wysuniętymi barkami i wystającym brzuchem, co wraz ze zmianą samej ściany klatki piersiowej może być czynnikiem wpływającym na stabilność całego ciała (Nuss & Kelly, 2009). Problem wpływu postawy ciała

na PS badano w połączeniu z innymi zaburzeniami posturalnymi, w szczególności skoliozą. Dufvenberg i wsp. (2018) wykazali w metaanalizie przeprowadzonej na podstawie ustaleń dziewięciu badań dotyczących parametrów przestrzennych przemieszczania się COP, istnienie umiarkowanych dowodów na zmniejszoną stabilność postawy u młodzieży ze skoliozą idiopatyczną – AIS (ang. *adolescent idiopathic scoliosis*). Postawiono hipotezę, że osoby z AIS mają upośledzoną dynamiczną regulację integracji sensomotorycznej polegającej na sprawnej zmianie wykorzystania poszczególnych źródeł informacji czuciowej w celu skutecznego generowania odpowiednich reakcji stabilizujących. Taka deprivacja sensoryczna byłaby powiązana z dysfunkcją równowagi przejawiającą się w niemożności rekalkibracji pozycji COP w stosunku do COG organizmu. W rezultacie obserwuje się nadmierne wahania ciała (Dufvenberg i in., 2018). Badania nad neurofizjologicznymi mechanizmami kontroli postawy u osób z AIS wykazały występowanie u nich wyższej częstotliwości szczytowej fal alfa (która jest markerem transmisji wzgórzowo-korowej, związanym ze złożonymi zadaniami utrzymania równowagi) w porównaniu do zdrowych osób z grupy kontrolnej. Według autorów może to wskazywać na potrzebę wzmocnienia przetwarzania korowego w celu utrzymania kontroli równowagi w normalnej pozycji pionowej u nastolatków z AIS, co może być strategią kompensacyjną pozwalającą przewyciężyć wyzwania związane z kontrolą równowagi (Lanthier i in., 2020). Zagadnienia te w odniesieniu do wad przedniej ściany klatki piersiowej wymagają dalszych szczegółowych badań, tym bardziej, że u około 20% pacjentów z klatką piersiową lejkowatą występuje również skolioza (zakres 4-51%) (Van Es i in., 2022). Współistnienie obu tych patologii i nakładanie się związanych z nimi zaburzeń sensomotorycznych prawdopodobnie utrudnia regulację stabilności posturalnej u takich osób. W prezentowanych badaniach rekrutowano do grupy eksperymentalnej osoby z klatką piersiową lejkowatą, u których nie stwierdzono innych zaburzeń posturalnych. Kwestia współwystępowania skoliozy lub innych zaburzeń i deformacji nie mogła mieć więc w tym wypadku znaczenia. Badanie topografii powierzchniowej tułowia wykazało, że w tym względzie pacjenci z klatką piersiową lejkowatą charakteryzowali się nawet lepszą symetrią tułowia niż osoby zdrowe z grupy kontrolnej. Raz jeszcze należy podkreślić, że jest to konsekwencją celowego doboru uczestników badań, w wyniku czego nie można rozpatrywać grupy badanej pod tym względem jako losowej, w sensie populacyjnym. Był to jednak zabieg konieczny, aby móc rozpatrywać znaczenie obecności jedynie tej wady w odniesieniu do

stabilności posturalnej. Należy więc poszukiwać innych przyczyn gorszej stabilności w tej grupie badanych.

Inną przyczyną obniżonej stabilności posturalnej u osób z klatką piersiową lejkowatą w porównaniu do osób zdrowych może być niski poziom aktywności fizycznej. Wiadomo, że aktywność fizyczna może wpływać na kontrolę postawy u osób w każdym wieku, a niski poziom aktywności fizycznej może być przyczyną niedostatecznej kontroli postawy (Cyma i in., 2018). W prezentowanych badaniach poziomu aktywności fizycznej pacjentów z klatką piersiową lejkowatą nie był przedmiotem analiz. Jednak z doniesień innych autorów wiadomo, że w związku z brakiem samoakceptacji ze względu na wygląd i kształt klatki piersiowej, udział w aktywności fizycznej osób obarczonych wadą jest niższy niż osób zdrowych. Może prowadzić to do pogorszenia kondycji fizycznej osób z klatką piersiową lejkowatą (Alaca & Yüksel, 2021; Casatori i in., 2022). Niższy poziom aktywności fizycznej jest zatem możliwym czynnikiem wpływającym ujemnie na stabilność posturalną osób z grupy eksperymentalnej w porównaniu z grupą kontrolną. By to ustalić konieczne byłyby badania porównawcze umożliwiające obiektywną ocenę poziomu aktywności fizycznej osób z obu grup.

Badania dotyczące wpływu zaburzeń postawy na stabilność posturalną nie są zbyt liczne, zwłaszcza jeśli dotyczą zmian powstałych na skutek zabiegu chirurgicznego wykonanego w celu skorygowania wady. Co więcej, badania te są prowadzone według różnych protokołów i na różnych platformach posturograficznych, co powoduje, że nie zawsze w pełni możliwe jest porównanie ich wyników (Wiernicka i in., 2019). Na podstawie ustaleń prezentowanych badań można potwierdzić hipotezę o negatywnym wpływie operacji naprawczych klatki piersiowej lejkowatej na stabilność posturalną pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej. Należy jednak zauważyć, że grupa eksperymentalna była stosunkowo niewielka i chociaż zastosowano bardziej konserwatywne analizy statystyczne post hoc, interpretacji wyników i wyciąganiu wniosków powinno towarzyszyć umiarkowanie. Zagadnienie to wymaga dalszych, pogłębionych badań na większych grupach i w dłuższym przedziale czasowym. Wydłużony okres badania pozwoliłby na określenie dynamiki zmian stabilności posturalnej po zakończeniu całego procesu leczenia naprawczego klatki piersiowej lejkowatej, związanego z pełną rekonwalescencją, utrwaleniem pożądanых zmian w strukturze przedniej ściany klatki piersiowej i usunięciem metalowych płytek. Ponadto głębsze zrozumienie charakteru zmian stabilności posturalnej mogłoby zapewnić dodatkowe

narzędzie diagnostyczne do monitorowania funkcjonalnego w ocenie i leczeniu chirurgicznym pacjentów z klatką piersiową lejkowatą. Uzyskane wyniki wskazujące na możliwość pogorszenia stabilności posturalnej w pierwszej fazie po interwencji chirurgicznej, co należy uwzględnić przy projektowaniu rehabilitacji pacjentów poddawanych zabiegowi metodą Nussa.

Drugim celem badania było porównanie pod kątem stabilności posturalnej pacjentów z klatką piersiową lejkowatą z osobami zdrowymi. Uzyskane wyniki wskazują na gorszą stabilność posturalną w stanie obunóż u pacjentów z tą wadą budowy. Kontynuacja badań posturograficznych przyczyni się do lepszego zrozumienia złożonego i skomplikowanego mechanizmu funkcjonowania klatki piersiowej u osób z wadą jej przedniej ściany, który obejmuje nie tylko kontrolę postawy, ale także zagadnienia prawidłowego współdziałania mięśni i innych elementów tułowia w precyzyjnej regulacji procesu oddychania.

Ograniczenia

Prezentowane badania mają pewne ograniczenia, o których warto pamiętać. Pierwszym z nich jest kwestia niewielkiej liczebności. Grupę eksperymentalną stanowiło 21 pacjentów z klatką piersiową lejkowatą, którzy ukończyli badania przed i po zabiegu metodą Nussa. Rekrutacja do badań prowadzona była w ograniczonym przedziale czasowym. Zaproszenie do udziału w tych badaniach kierowana była do wszystkich pacjentów Wielkopolskiego Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii w Poznaniu, którzy spełniali kryteria włączenia do badań, byli dyspozycyjni i podpisali zgodę w terminie przewidzianym na badanie. Warto zaznaczyć, że udział w badaniu wiązał się z koniecznością odwiedzenia laboratorium badawczego w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu, które znajduje się w innej części miasta, dość daleko od kliniki. Okazało się to poważnym problemem, zwłaszcza dla pacjentów przyjezdnych, a dla znacznej części pacjentów było powodem do rezygnacji. Drugim ograniczeniem była długość trwania obserwacji po interwencji chirurgicznej. Wpływ zabiegu na stabilność posturalną badano tylko w pierwszej fazie pooperacyjnej. W kolejnych badaniach warto ponadto rozważyć uwzględnienie takich zagadnień, jak ocena poziomu aktywności fizycznej, gdyż wiadomo, że aktywność fizyczna może modulować kontrolę postawy u osób w każdym wieku, a niski poziom aktywności fizycznej może być przyczyną

deficytów w złożonym procesie kontroli postawy (Cyma i in., 2018). Wzbogacenie modelu badań o obiektywną ocenę funkcji mięśni, np. metodą elektromiografii, również mogłoby poszerzyć perspektywę poznawczą w kontekście procesów kontroli postawy ciała. Interpretacja wyników badań przedstawiona w tym rozdziale ma w wielu miejscach, co starano się podkreślić, charakter spekulacyjny. Jest to konsekwencją braku badań dotyczących poruszanych zagadnień odnoszących się do stabilności posturalnej osób z klatką piersiową lejkową.

6. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań dotyczących wpływu zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej lejkowej metodą Nussa na stabilność posturalną, stan funkcjonalny mięśni i symetrię tułowia, a także porównania pod tym względem pacjentów z wadą przedniej ściany klatki piersiowej z osobami bez zaburzeń postawy ciała, wyciągnięto następujące wnioski:

1. Część parametrów określających przemieszczanie się środka nacisku (COP) w pozycji stojącej (obunóż) uległa pogorszeniu u pacjentów będących w fazie pooperacyjnej po zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowej przeprowadzonego metodą Nussa, co przekłada się na ich słabszą stabilność posturalną w tym okresie. Wywołane zabiegiem zmiany stabilności powinny być brane pod uwagę przy planowaniu programu rehabilitacji leczniczej.
2. Nie zaobserwowano różnic w wynikach testów funkcjonalnych mięśni u pacjentów przed i po zabiegu operacyjnym korekcji klatki piersiowej w fazie pooperacyjnej, co może być konsekwencją braku zaburzeń w zakresie długości i stanu mięśni szkieletowych przed zabiegiem.
3. Obserwowany korzystny wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej na symetrię tułowia pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej przejawiał się obniżeniem wartości parametru POTSI. Należy jednak zauważyć, że przed zabiegiem również mieścił się on w zakresie fizjologicznym.
4. Pacjenci z klatką piersiową lejkową charakteryzują się większymi wahaniami postawy ciała w pozycji stojącej, a co za tym idzie gorszą stabilnością niż osoby zdrowe bez wad postawy.
5. Badane osoby zdrowe charakteryzują się gorszym stanem funkcjonalnym mięśni szkieletowych niż osoby z klatką piersiową lejkową.
6. Pacjenci z klatką piersiową lejkową nie różnią się istotnie od osób zdrowych pod względem symetrii tułowia. Obie grupy mieściły się w zakresie fizjologicznym, co związane było z celowym doбором uczestników do badań.

Piśmiennictwo

- Abdullah, F., & Harris, J. (2016). Pectus Excavatum: More Than a Matter of Aesthetics. *Pediatric Annals*, 45(11), e403–e406. <https://doi.org/10.3928/19382359-20161007-01>
- Alaca, N., & Yüksel, M. (2021). Comparison of physical functions and psychosocial conditions between adolescents with pectus excavatum, pectus carinatum and healthy controls. *Pediatric Surgery International*, 37(6), 765–775. <https://doi.org/10.1007/s00383-021-04857-7>
- Alcock, L., O'Brien, T. D., & Vanicek, N. (2018). Association between somatosensory, visual and vestibular contributions to postural control, reactive balance capacity and healthy ageing in older women. *Health Care for Women International*, 39(12), 1366–1380. <https://doi.org/10.1080/07399332.2018.1499106>
- Alhelal, F., Alissa, S., Abaalkhail, M., Alshehri, A., Alsaeed, A., & Bindekayel, J. (2023). The Effect of Visual Impairment on Postural Stability After Lumbar Spine Fracture: A Case Report and Review of the Literature. *Cureus*, 15(12), e49995. <https://doi.org/10.7759/cureus.49995>
- Alonso, A. C., Mochizuki, L., Silva Luna, N. M., Ayama, S., Canonica, A. C., & Greve, J. M. D. A. (2015). Relation between the Sensory and Anthropometric Variables in the Quiet Standing Postural Control: Is the Inverted Pendulum Important for the Static Balance Control? *BioMed Research International*, 2015, 985312. <https://doi.org/10.1155/2015/985312>
- Andreescu, N., Sharma, A., Mihailescu, A., Zimbru, C. G., David, V. L., Horhat, R., Kundnani, N. R., Puiu, M., & Farcas, S. (2022). Chest wall deformities and their possible associations with different genetic syndromes. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 26(14), 5107–5114. https://doi.org/10.26355/eurrev_202207_29298
- Aramaki, Y., Nozaki, D., Masani, K., Sato, T., Nakazawa, K., & Yano, H. (2001). Reciprocal angular acceleration of the ankle and hip joints during quiet standing in humans. *Experimental Brain Research*, 136(4), 463–473. <https://doi.org/10.1007/s002210000603>
- Armstrong, B., McNair, P., & Taylor, D. (2008). Head and neck position sense. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(2), 101–117. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00002>
- Aszländer, L., & Peterka, R. J. (2014). Sensory reweighting dynamics in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 111(9), 1852–1864. <https://doi.org/10.1152/jn.00669.2013>
- Baratto, L., Morasso, P. G., Re, C., & Spada, G. (2002). A new look at posturographic analysis in the clinical context: Sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control*, 6(3), 246–270. <https://doi.org/10.1123/mcj.6.3.246>

- Barozzi, S., Socci, M., Soi, D., Di Bernardino, F., Fabio, G., Forti, S., Gasbarre, A. M., Brambilla, D., & Cesarani, A. (2014). Reliability of postural control measures in children and young adolescents. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology: Official Journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): Affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 271(7), 2069–2077.
<https://doi.org/10.1007/s00405-014-2930-9>
- Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument. *Canadian Journal of Public Health = Revue Canadienne De Sante Publique*, 83 Suppl 2, S7-11.
- Berg, K., Wood-Dauphine, S., Williams, J. i., & Gayton, D. (1989). Measuring balance in the elderly: Preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41(6), 304–311.
<https://doi.org/10.3138/ptc.41.6.304>
- Białaś, A. J., & Jabłoński, J. (2010). Lejkowata klatka piersiowa u dzieci. *Przegląd Pediatryczny*, 40(2).
<https://publicum.umed.lodz.pl/info/article/AMLe4d935a3d6bd4289b4b6b250a600be9a?ps=20&lang=pl&title=&pn=1&cid=83117>
- Biavati, M., Kozlitina, J., Alder, A. C., Foglia, R., McColl, R. W., Peshock, R. M., Kelly, R. E., & Kim Garcia, C. (2020). Prevalence of pectus excavatum in an adult population-based cohort estimated from radiographic indices of chest wall shape. *PLOS ONE*, 15(5), e0232575.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232575>
- Biernat, M., & Bąk-Sosnowska, M. (2018). Postawa ciała a obraz siebie i funkcjonowanie psychospołeczne w okresie adolescencji. *Pediatrics i Medycyna Rodzinna*, 14(3).
<https://doi.org/10.15557/PiMR.2018.0031>
- Billar, R. J., Manoubi, W., Kant, S. G., Wijnen, R. M. H., Demirdas, S., & Schnater, J. M. (2021). Association between pectus excavatum and congenital genetic disorders: A systematic review and practical guide for the treating physician. *Journal of Pediatric Surgery*, 56(12), 2239–2252. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2021.04.016>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Błaszczak, J. (2004). *Biomechanika kliniczna: Podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii*. PZWL.
<https://medbook.com.pl/pl/rehabilitacja-i-fizjoterapia/517-biomechanika-kliniczna-janusz-blaszczyk-5049.html>
- Błaszczak, J. W., Cieślinska-Świder, J., Plewa, M., Zahorska-Markiewicz, B., & Markiewicz, A. (2009). Effects of excessive body weight on postural control. *Journal of Biomechanics*, 42(9), 1295–1300. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.03.006>

- Błaszczak, J. W., & Czerwos, L. (2005). Stabilność posturalna w procesie starzenia. *Gerontologia Polska*, 13(1), 25–36.
- Bonnet, C. T., Cherraf, S., Szaffarczyk, S., & Rougier, P. R. (2014). The contribution of body weight distribution and center of pressure location in the control of mediolateral stance. *Journal of Biomechanics*, 47(7), 1603–1608. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.03.005>
- Bottaro, A., Yasutake, Y., Nomura, T., Casadio, M., & Morasso, P. (2008). Bounded stability of the quiet standing posture: An intermittent control model. *Human Movement Science*, 27(3), 473–495. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.11.005>
- Brochhausen, C., Tural, S., Müller, F. K. P., Schmitt, V. H., Coerd, W., Wihlm, J.-M., Schier, F., & Kirkpatrick, C. J. (2012). Pectus excavatum: History, hypotheses and treatment options. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 14(6), 801–806. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivs045>
- Buckup, K. (2004). *Testy kliniczne w badaniu kości, stawów i mięśni*. Wydawnictwo Lekarskie (2. wyd.). PZWL.
- Bullo, V., Gobbo, S., Cugusi, L., Di Blasio, A., Bortoletto, A., Pippi, R., Cruz-Diaz, D., Gasperetti, A., Vettor, R., Ermolao, A., & Bergamin, M. (2022). The Influence of Weight Loss in Postural Control in Women Undergoing Sleeve Gastrectomy. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/jfkm7040117>
- Buziashvili, D., Gopman, J. M., Weissler, H., Bodenstern, L., Kaufman, A. J., & Taub, P. J. (2019). An Evidence-Based Approach to Management of Pectus Excavatum and Carinatum. *Annals of Plastic Surgery*, 82(3), 352–358. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000001654>
- Caccese, J. B., Santos, F. V., Yamaguchi, F. K., Buckley, T. A., & Jeka, J. J. (2021). Persistent visual and vestibular impairments for postural control following concussion: A cross-sectional study in university students. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(10), 2209–2220. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01472-3>
- Carini, F., Mazzola, M., Fici, C., Palmeri, S., Messina, M., Damiani, P., & Tomasello, G. (2017). Posture and posturology, anatomical and physiological profiles: Overview and current state of art. *Acta Bio-Medica: Atenei Parmensis*, 88(1), 11–16. <https://doi.org/10.23750/abm.v88i1.5309>
- Casatori, L., Pellegrino, A., Messineo, A., Ghionzoli, M., Facchini, F., Modesti, A., & Modesti, P. A. (2022). Differential Influence of Physical Activity on Cardiopulmonary Performance and Stroke Volume Assessed at Cardiopulmonary Exercise Test in Pectus Excavatum: A Pilot Study. *Frontiers in Physiology*, 13, 831504. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.831504>
- Castellani, C., Schalamon, J., Saxena, A. K., & Höellwarth, M. E. (2008). Early complications of the Nuss procedure for pectus excavatum: A prospective study. *Pediatric Surgery International*, 24(6), 659–666. <https://doi.org/10.1007/s00383-008-2106-z>

- Cheung, T. C. K., & Schmuckler, M. A. (2021). Multisensory postural control in adults: Variation in visual, haptic, and proprioceptive inputs. *Human Movement Science, 79*, 102845. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102845>
- Chowańska, J. (2011). *Wykorzystanie metody topografii powierzchni ciała oraz skoliometru do badań przesiewowych dzieci szkolnych w kierunku wykrywania skoliozy idiopatycznej. Rozprawa doktorska*. Uniwersytet Medyczny w Poznaniu.
- Chun, S.-W., Lim, C.-Y., Kim, K., Hwang, J., & Chung, S. G. (2017). The relationships between low back pain and lumbar lordosis: A systematic review and meta-analysis. *The Spine Journal: Official Journal of the North American Spine Society, 17*(8), 1180–1191. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.04.034>
- Cibulková, N., Daďová, K., Mašková, K., Busch, A., Kobesová, A., Vařeková, J., Hašpicová, M., & Matoulek, M. (2022). Bariatric surgery and exercise: A pilot study on postural stability in obese individuals. *PLOS ONE, 17*(1), e0262651. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262651>
- Collins, J. J., & De Luca CJ, null. (1994). Random walking during quiet standing. *Physical Review Letters, 73*(5), 764–767. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.73.764>
- Coln, E., Carrasco, J., & Coln, D. (2006). Demonstrating relief of cardiac compression with the Nuss minimally invasive repair for pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery, 41*(4), 683–686; discussion 683–686. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2005.12.009>
- Colombani, P. M. (2009). Preoperative assessment of chest wall deformities. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery, 21*(1), 58–63. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.04.003>
- Creswick, H. A., Stacey, M. W., Kelly, R. E., Gustin, T., Nuss, D., Harvey, H., Goretsky, M. J., Vasser, E., Welch, J. C., Mitchell, K., & Proud, V. K. (2006). Family study of the inheritance of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery, 41*(10), 1699–1703. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2006.05.071>
- Croitoru, D. P., Kelly, R. E., Goretsky, M. J., Lawson, M. L., Swoveland, B., & Nuss, D. (2002). Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients. *Journal of Pediatric Surgery, 37*(3), 437–445. <https://doi.org/10.1053/jpsu.2002.30851>
- Cumberworth, V. L., Patel, N. N., Rogers, W., & Kenyon, G. S. (2007). The maturation of balance in children. *The Journal of Laryngology and Otology, 121*(5), 449–454. <https://doi.org/10.1017/S0022215106004051>
- Cyma, M., Marciniak, K., Tomczak, M., & Stemplewski, R. (2018). Postural Stability and Physical Activity of Workers Working at Height. *American Journal of Men's Health, 12*(4), 1068–1073. <https://doi.org/10.1177/1557988318774996>

- Czaprowski, D., Stoliński, Ł., Tyrakowski, M., Kozinoga, M., & Kotwicki, T. (2018). Non-structural misalignments of body posture in the sagittal plane. *Scoliosis and Spinal Disorders*, *13*, 6. <https://doi.org/10.1186/s13013-018-0151-5>
- Dahl, K. D., Wang, H., Popp, J. K., & Dickin, D. C. (2016). Load distribution and postural changes in young adults when wearing a traditional backpack versus the BackTpack. *Gait & Posture*, *45*, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.012>
- Dalleau, G., Allard, M. S., Beaulieu, M., Rivard, C.-H., & Allard, P. (2007). Free moment contribution to quiet standing in able-bodied and scoliotic girls. *European Spine Journal*, *16*(10), 1593–1599. <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0404-0>
- David, V. L. (2022). Current Concepts in the Etiology and Pathogenesis of Pectus Excavatum in Humans-A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(5), 1241. <https://doi.org/10.3390/jcm11051241>
- Dąbrowska, A., Olszewska-Karaban, M. A., Permoda-Białozorczyk, A. K., & Szalewska, D. A. (2020). The Postural Control Indexes during Unipodal Support in Patients with Idiopathic Scoliosis. *BioMed Research International*, *2020*, e7936095. <https://doi.org/10.1155/2020/7936095>
- Dega, W. (1983). *Ortopedia i rehabilitacja Tom 1 i 2—Wiktor Dega (red.)*. PZWL.
- Del Frari, B., Blank, C., Sigl, S., Schwabegger, A. H., Gassner, E., Morawetz, D., & Schobersberger, W. (2021). The questionable benefit of pectus excavatum repair on cardiopulmonary function: A prospective study. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, *61*(1), 75–82. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezab296>
- Dematos, A., Bernardo, J., Fernandes, L., & Antunes, M. (1997). Surgery of chest wall deformities. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, *12*(3), 345–350. [https://doi.org/10.1016/S1010-7940\(97\)00168-1](https://doi.org/10.1016/S1010-7940(97)00168-1)
- Diener, H. C., & Dichgans, J. (1988). On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Progress in Brain Research*, *76*, 253–262. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)64512-4](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(08)64512-4)
- Dore, M., Triana Junco, P., Bret, M., Gomez Cervantes, M., Muñoz Romo, M., Jimenez Gomez, J., Perez Vigara, A., Parron Pajares, M., Luis Encinas, J., Hernandez, F., Martinez, L., Lopez Santamaria, M., & De La Torre, C. (2018). Advantages of Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Severe Pectus Excavatum Assessment in Children. *European Journal of Pediatric Surgery: Official Journal of Austrian Association of Pediatric Surgery ... [et Al] = Zeitschrift Fur Kinderchirurgie*, *28*(1), 34–38. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1604427>
- Duarte, M., & Freitas, S. M. S. F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Revista Brasileira De Fisioterapia (Sao Carlos (Sao Paulo, Brazil))*, *14*(3), 183–192.

- Dufvenberg, M., Adeyemi, F., Rajendran, I., Öberg, B., & Abbott, A. (2018). Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis. *Scoliosis and Spinal Disorders*, *13*(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s13013-018-0163-1>
- Edin, B. B., & Johansson, N. (1995). Skin strain patterns provide kinaesthetic information to the human central nervous system. *The Journal of Physiology*, *487*(1), 243–251. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020875>
- Edwards, W. T. (2007). Effect of joint stiffness on standing stability. *Gait & Posture*, *25*(3), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.05.009>
- Eisinger, R. S., Harris, T., Rajderkar, D. A., & Islam, S. (2019). Against the Overgrowth Hypothesis: Shorter Costal Cartilage Lengths in Pectus Excavatum. *The Journal of Surgical Research*, *235*, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.080>
- Ewais, M. M., Chaparala, S., Uhl, R., & Jaroszewski, D. E. (2018). Outcomes in adult pectus excavatum patients undergoing Nuss repair. *Patient Related Outcome Measures*, *9*, 65–90. <https://doi.org/10.2147/PROM.S117771>
- Ewert, F., Syed, J., Kern, S., Besendörfer, M., Carbon, R. T., & Schulz-Drost, S. (2017). Symptoms in Pectus Deformities: A Scoring System for Subjective Physical Complaints. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, *65*(1), 43–49. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584355>
- Feller, K. J., Peterka, R. J., & Horak, F. B. (2019). Sensory Re-weighting for Postural Control in Parkinson's Disease. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00126>
- Felts, E., Jouve, J.-L., Blondel, B., Launay, F., Lacroix, F., & Bollini, G. (2009). Child pectus excavatum: Correction by minimally invasive surgery. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research: OTSR*, *95*(3), 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.03.001>
- Ferber-Viart, C., Ionescu, E., Morlet, T., Froehlich, P., & Dubreuil, C. (2007). Balance in healthy individuals assessed with Equitest: Maturation and normative data for children and young adults. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *71*(7), 1041–1046. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.03.012>
- Fesenko, U. A., & Myhal, I. (2021). Cardiac function during mini-invasive repair of Pectus Excavatum with the Nuss procedure. *Wiadomości Lekarskie*, *74*(8), 1809–1815. <https://doi.org/10.36740/WLek202108106>
- Fibak, J. (1963). *Klinika i leczenie lejkowatej i kurzej klatki piersiowej*. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk.
- Fokin, A. A. (2000). Cleft sternum and sternal foramen. *Chest Surgery Clinics of North America*, *10*(2), 261–276.

- Fokin, A. A., Steuerwald, N. M., Ahrens, W. A., & Allen, K. E. (2009). Anatomical, Histologic, and Genetic Characteristics of Congenital Chest Wall Deformities. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 21(1), 44–57. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.001>
- Fonkalsrud, E. W. (2003). Current management of pectus excavatum. *World Journal of Surgery*, 27(5), 502–508. <https://doi.org/10.1007/s00268-003-7025-5>
- Fonkalsrud, E. W. (2009). 912 Open Pectus Excavatum Repairs: Changing Trends, Lessons Learned: One Surgeon's Experience. *World Journal of Surgery*, 33(2), 180–190. <https://doi.org/10.1007/s00268-008-9793-4>
- Fonkalsrud, E. W., Dunn, J. C., & Atkinson, J. B. (2000). Repair of pectus excavatum deformities: 30 years of experience with 375 patients. *Annals of Surgery*, 231(3), 443–448. <https://doi.org/10.1097/00000658-200003000-00019>
- Fontana, M. P., Menegoni, F., Vismara, L., Galli, M., Romei, M., Bergamini, E., Petroni, M. L., & Capodaglio, P. (2009). Balance in patients with anorexia and bulimia nervosa. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 45(3), 335–340.
- Franchignoni, F., Horak, F., Godi, M., Nardone, A., & Giordano, A. (2010). Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation System's Test: The mini-BESTest. *Journal of rehabilitation medicine : official journal of the UEMS European Board of Physical and Rehabilitation Medicine*, 42(4), 323–331. <https://doi.org/10.2340/16501977-0537>
- Frerich, J. M., Hertzler, K., Knott, P., & Mardjetko, S. (2012). Comparison of Radiographic and Surface Topography Measurements in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *The Open Orthopaedics Journal*, 6, 261–265. <https://doi.org/10.2174/1874325001206010261>
- Ghionzoli, M., Martin, A., Bongini, M., Bongini, U., Ciuti, G., Grisotto, L., Monaco, V., Menciasci, A., Defilippi, C., & Messineo, A. (2016). Scoliosis and Pectus Excavatum in Adolescents: Does the Nuss Procedure Affect the Scoliotic Curvature? *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, 26(9), 734–739. <https://doi.org/10.1089/lap.2016.0168>
- Głowacki, M., Kotwicki, T., & Pucher, A. (2003). Skrzywienie kręgosłupa. W *Dega W., Ortopedia i rehabilitacja*. PZWL.
- Godzik, J., Frames, C. W., Smith Hussain, V., Olson, M. C., Kakarla, U. K., Uribe, J. S., Lockhart, T. E., & Turner, J. D. (2020). Postural Stability and Dynamic Balance in Adult Spinal Deformity: Prospective Pilot Study. *World Neurosurgery*, 141, e783–e791. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.06.010>
- Goldberg, J., & Peterson, B. W. (1986). Reflex and mechanical contributions to head stabilization in alert cats. *Journal of Neurophysiology*, 56(3), 857–875. <https://doi.org/10.1152/jn.1986.56.3.857>

- Goretsky, M. (2004). Chest wall anomalies: Pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolescent Medicine Clinics*, 15(3), 455–471. <https://doi.org/10.1016/j.admecli.2004.06.002>
- Goretsky, M. J., Kelly, R. E., Croitoru, D., & Nuss, D. (2004). Chest wall anomalies: Pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolescent Medicine Clinics*, 15(3), 455–471. <https://doi.org/10.1016/j.admecli.2004.06.002>
- Greve, J., Alonso, A., Bordini, A. C. P. G., & Camanho, G. L. (2007). Correlation between body mass index and postural balance. *Clinics*, 62(6), 717–720. <https://doi.org/10.1590/S1807-59322007000600010>
- Griegel-Morris, P., Larson, K., Mueller-Klaus, K., & Oatis, C. A. (1992). Incidence of Common Postural Abnormalities in the Cervical, Shoulder, and Thoracic Regions and Their Association with Pain in Two Age Groups of Healthy Subjects. *Physical Therapy*, 72(6), 425–431. <https://doi.org/10.1093/ptj/72.6.425>
- Grüneberg, C., Bloem, B. R., Honegger, F., & Allum, J. H. J. (2004). The influence of artificially increased hip and trunk stiffness on balance control in man. *Experimental Brain Research*, 157(4). <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1861-x>
- Haecker, F.-M., & Mayr, J. (2006). The vacuum bell for treatment of pectus excavatum: An alternative to surgical correction? *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery: Official Journal of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery*, 29(4), 557–561. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.01.025>
- Haller, J. A., Kramer, S. S., & Lietman, S. A. (1987). Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: A preliminary report. *Journal of Pediatric Surgery*, 22(10), 904–906. [https://doi.org/10.1016/s0022-3468\(87\)80585-7](https://doi.org/10.1016/s0022-3468(87)80585-7)
- Hamilton, M., Strawderman, L., Hale, B., & Babski-Reeves, K. (2015). Effects of BMI and task parameters on postural sway during simulated small parts assembly. *Ergonomics*, 58(3), 504–512. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.972468>
- Hay, L., & Redon, C. (2001). Development of postural adaptation to arm raising. *Experimental Brain Research*, 139(2), 224–232. <https://doi.org/10.1007/s002210100752>
- Hebra, A., Calder, B. W., & Leshner, A. (2016). Minimally invasive repair of pectus excavatum. *Journal of Visualized Surgery*, 2, 73. <https://doi.org/10.21037/jovs.2016.03.21>
- Hedesz, P., Taras, A., Woźniak, K., Gardian-Baj, M., Jung, M., Jung, M., Żuk-Łapan, A., Doryń, A., Włodarczyk, A., & Popczyńska, J. (2024). Pectus Excavatum: A review of current treatment possibilities. *Journal of Education, Health and Sport*, 57, 140–153. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2024.57.010>

- Hirabayashi, S., & Iwasaki, Y. (1995). Developmental perspective of sensory organization on postural control. *Brain & Development*, *17*(2), 111–113. [https://doi.org/10.1016/0387-7604\(95\)00009-z](https://doi.org/10.1016/0387-7604(95)00009-z)
- Hodges, P. W., & Gandevia, S. C. (2000). Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *The Journal of Physiology*, *522*(1), 165–175. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00165.xm>
- Hong, J.-Y., Suh, S.-W., Park, H.-J., Kim, Y.-H., Park, J.-H., & Park, S.-Y. (2011). Correlations of adolescent idiopathic scoliosis and pectus excavatum. *Journal of Pediatric Orthopedics*, *31*(8), 870–874. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e31822da7d5>
- Horak, F. B. (1987). Clinical measurement of postural control in adults. *Physical Therapy*, *67*(12), 1881–1885. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.12.1881>
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, *35* Suppl 2, ii7–ii11. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl077>
- Horch, R. E., & Springer, O. (2002). Minimally-invasive endoscopic correction of funnel chest deformity via an umbilical incision. *Aesthetic Plastic Surgery*, *26*(4), 295–298. <https://doi.org/10.1007/s00266-002-2011-0>
- Hue, O., Simoneau, M., Marcotte, J., Berrigan, F., Doré, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., & Teasdale, N. (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait & Posture*, *26*(1), 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.07.005>
- Huurnink, A., Fransz, D. P., Kingma, I., & van Dieën, J. H. (2013). Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. *Journal of Biomechanics*, *46*(7), 1392–1395. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.018>
- Hwang, S., Agada, P., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2016). Identification of the Unstable Human Postural Control System. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *10*, 22. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00022>
- Ignasiak, Z. (2022). *Anatomia narządów wewnętrznych i układu nerwowego człowieka* (2. wyd.). Edra Urban & Partner. <https://pzwł.pl/Anatomia-narzadow-wewnetrznych-i-ukladu-nerwowego-czlowieka,4630962,p.html>
- Iida, H., Sunazawa, T., Ishida, K., & Doi, A. (2009). Surgical repair of pectus excavatum not requiring exogenous implants in 113 patients☆. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, *S101079400900579X*. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.06.005>

- Inami, K., Suzuki, N., Ono, T., Yamashita, Y., Kohno, K., & Morisue, H. (1999). Analysis of Posterior Trunk Symmetry Index (POTSI) in Scoliosis. Part 2. *W Research into Spinal Deformities 2* (s. 85–88). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-903-5-85>
- Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Jacobs, J. P., Quintessenza, J. A., Morell, V. O., Botero, L. M., van Gelder, H. M., & Tchervenkov, C. I. (2002). Minimally invasive endoscopic repair of pectus excavatum. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery: Official Journal of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery*, *21*(5), 869–873. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(02)00069-6)
- Janssen, M. M. A., Kouwenhoven, J.-W. M., & Castelein, R. M. (2010). The role of posteriorly directed shear loads acting on a pre-rotated growing spine: A hypothesis on the pathogenesis of idiopathic scoliosis. *Studies in Health Technology and Informatics*, *158*, 112–117.
- Janssen, M. M. A., Vincken, K. L., Kemp, B., Obradov, M., de Kleuver, M., Viergever, M. A., Castelein, R. M., & Bartels, L. W. (2010). Pre-existent vertebral rotation in the human spine is influenced by body position. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, *19*(10), 1728–1734. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1400-3>
- Janssen, N., Coorens, N. A., Franssen, A. J. P. M., Daemen, J. H. T., Michels, I. L., Hulsewé, K. W. E., Vissers, Y. L. J., & de Loos, E. R. (2024). Pectus excavatum and carinatum: A narrative review of epidemiology, etiopathogenesis, clinical features, and classification. *Journal of Thoracic Disease*, *16*(2), 1687–1701. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-957>
- Janssen, N., Daemen, J. H. T., van Polen, E. J., Coorens, N. A., Jansen, Y. J. L., Franssen, A. J. P. M., Hulsewé, K. W. E., Vissers, Y. L. J., Haecker, F.-M., Milanez de Campos, J. R., de Loos, E. R., & Chest Wall International Group Collaborator Group. (2023). Pectus Excavatum: Consensus and Controversies in Clinical Practice. *The Annals of Thoracic Surgery*, *116*(1), 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2023.02.059>
- Jaroszewski, D. E., Farina, J. M., Gotway, M. B., Stearns, J. D., Peterson, M. A., Pulivarthi, V. S. K. K., Bostoros, P., Abdelrazek, A. S., Gotimukul, A., Majdalany, D. S., Wheatley-Guy, C. M., & Arsanjani, R. (2022). Cardiopulmonary Outcomes After the Nuss Procedure in Pectus Excavatum. *Journal of the American Heart Association*, *11*(7), e022149. <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.022149>
- Jayaramakrishnan, K., Wotton, R., Bradley, A., & Naidu, B. (2013). Does repair of pectus excavatum improve cardiopulmonary function? *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, *16*(6), 865–870. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt045>

- Jin, C., Wang, S., Yang, G., Li, E., & Liang, Z. (2022). A Review of the Methods on Cobb Angle Measurements for Spinal Curvature. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(9), 3258. <https://doi.org/10.3390/s22093258>
- Jorgenson, A. (1993). The iliopsoas muscle and the lumbar spine. *The Australian Journal of Physiotherapy*, *39*(2), 125–132. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60477-3](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60477-3)
- Juker, D., McGill, S., Kropf, P., & Steffen, T. (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *30*(2), 301–310. <https://doi.org/10.1097/00005768-199802000-00020>
- Kacprzak, G., & Kołodziej, J. (2005). Klatka piersiowa lejkowata—Patomorfologia, objawy, diagnostyka, wskazania do operacji. *Polski Przegląd Chirurgiczny*, *77*, 82–91.
- Kamata, S., Usui, N., Sawai, T., Tazuke, Y., Nose, K., Kawahara, H., & Okada, A. (2001). Pectus excavatum repair using a costal cartilage graft for patients with tracheobronchomalacia. *Journal of Pediatric Surgery*, *36*(11), 1650–1652. <https://doi.org/10.1053/jpsu.2001.27941>
- Kanase, S., & Thakkar, R. (2022). To Design and Investigate the Effectiveness of a Gaze Stabilization Application on Patients with Impaired Visual Vestibulo-ocular Reflex. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, *22*, 94–103. <https://doi.org/10.18311/jeoh/2022/29644>
- Karakılıç, A., Karaçam, V., Ersöz, H., Ağababaoğlu, İ., Ulugün, F. İ., & Şanlı, A. (2018). Determination of severity of deformity with rib length to costal cartilage length ratio in thorax deformities. *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Dergisi*, *26*(2), 279–285. <https://doi.org/10.5606/tgkdc.dergisi.2018.15009>
- Karmali, F., Goodworth, A. D., Valko, Y., Leeder, T., Peterka, R. J., & Merfeld, D. M. (2021). The role of vestibular cues in postural sway. *Journal of Neurophysiology*, *125*(2), 672–686. <https://doi.org/10.1152/jn.00168.2020>
- Kasperczyk, T. (2004). *Wady postawy ciała, diagnostyka i leczenie*. Kasper.
- Kelly, R. E. (2008a). Pectus excavatum: Historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Seminars in Pediatric Surgery*, *17*(3), 181–193. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002>
- Kelly, R. E. (2008b). Pectus excavatum: Historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Seminars in Pediatric Surgery*, *17*(3), 181–193. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002>
- Kelly, R. E. (2018). Modifications and Further Development of the Original Nuss Procedure: Blessing or Curse? *European Journal of Pediatric Surgery: Official Journal of Austrian Association of*

- Pediatric Surgery ... [et Al] = Zeitschrift Fur Kinderchirurgie*, 28(4), 304–319.
<https://doi.org/10.1055/s-0038-1668564>
- Kelly, R. E., Lawson, M. L., Paidas, C. N., & Hruban, R. H. (2005). Pectus excavatum in a 112-year autopsy series: Anatomic findings and the effect on survival. *Journal of Pediatric Surgery*, 40(8), 1275–1278. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2005.05.010>
- Kendall, F. P., & McCreary, E. K. (1984). Muscles, Testing and Function. *British Journal of Sports Medicine*, 18(1), 25.
- Keshner, E. A., Fung, J., & Bhatt, T. (2024). Editorial: Current state of postural research - Moving beyond the balance platform. *Frontiers in Neurology*, 15, 1362720.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1362720>
- Khan, S., & Chang, R. (2013). Anatomy of the vestibular system: A review. *NeuroRehabilitation*, 32(3), 437–443. <https://doi.org/10.3233/NRE-130866>
- Kikanloo, S. R., Tarpada, S. P., & Cho, W. (2019). Etiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Literature Review. *Asian Spine Journal*, 13(3), 519–526.
<https://doi.org/10.31616/asj.2018.0096>
- Kloth, K., Klohs, S., Bhullar, J., Boettcher, M., Hempel, M., Trah, J., & Reinshagen, K. (2022). The Epidemiology behind Pectus Excavatum: Clinical Study and Review of the Literature. *European Journal of Pediatric Surgery: Official Journal of Austrian Association of Pediatric Surgery ... [et Al] = Zeitschrift Fur Kinderchirurgie*, 32(4), 316–320. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1729898>
- Kotoulas, C., Papoutsis, D., Tsolakis, K., & Laoutidis, G. (2003). Surgical repair of pectus excavatum in young adults using the DualMesh 2-mm Gore-Tex. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 2(4), 565–568. [https://doi.org/10.1016/S1569-9293\(03\)00145-2](https://doi.org/10.1016/S1569-9293(03)00145-2)
- Kotwicki, T., Kinel, E., Chowańska, J., & Bodnar-Nanuś, A. (2008). *POTSI, Hump Sum i Suma Rotacji – nowe parametry z zakresu topografii powierzchni ciała dla opisu zniekształcenia tułowia u chorych ze skoliozą*. 8 (3), 231–240.
- Kotzot, D., & Schwabegger, A. H. (2009). Etiology of chest wall deformities—A genetic review for the treating physician. *Journal of Pediatric Surgery*, 44(10), 2004–2011.
<https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2009.07.029>
- Koumbourlis, A. C., & Stolar, C. J. (2004). Lung growth and function in children and adolescents with idiopathic pectus excavatum. *Pediatric Pulmonology*, 38(4), 339–343.
<https://doi.org/10.1002/ppul.20062>
- Kowalewski, J. (1999). *Wentylacja płuc i funkcja komór serca w spoczynku a zdolność do długotrwałego wysiłku fizycznego o charakterze dynamicznym u chorych przed i po leczeniu*

- operacyjnym z powodu lejkowatej klatki piersiowej: Rozprawa habilitacyjna.* Wojskowa Akademia Medyczna im gen. dyw. Bolesława Szareckiego.
- Krishnamoorthy, V., & Latash, M. L. (2005). Reversals of anticipatory postural adjustments during voluntary sway in humans. *The Journal of Physiology*, *565*(2), 675–684.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.084772>
- Ku, P. X., Abu Osman, N. A., Yusof, A., & Wan Abas, W. A. B. (2012). Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index. *Journal of Biomechanics*, *45*(9), 1638–1642. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.03.029>
- Kuru, P., Dudakli, A., Mursaloglu, H., Arikan, H., Oktay, A., & Yuksel, M. (2015). How pulmonary function changes after pectus excavatum correction surgery. *Asian Cardiovascular & Thoracic Annals*, *23*(8), 945–949. <https://doi.org/10.1177/0218492315596464>
- Kwiatkowski, M., Mnich, K., Karpiński, M., Domański, K., Milewski, R., & Popko, J. (2015). Ocena satysfakcji pacjentów z leczenia skoliozy idiopatycznej gorsetem piersiowo-lędźwiowym. *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja*, *17*(2 (6)).
<https://doi.org/10.5604/15093492.1157087>
- La Porta, F., Franceschini, M., Caselli, S., Susassi, S., Cavallini, P., & Tennant, A. (2011). Unified Balance Scale: Classic psychometric and clinical properties. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *43*(5), 445–453. <https://doi.org/10.2340/16501977-0800>
- Lang, C. B., & Kearney, R. E. (2014). Modulation of ankle stiffness during postural sway. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4062–4065. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944516>
- Lanthier, J., Simoneau, M., Knoth, I. S., Lippé, S., Bluteau, C., & Fortin, C. (2020). Increased EEG alpha peak frequency in adolescents with idiopathic scoliosis during balance control in normal upright standing. *Neuroscience Letters*, *722*, 134836.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134836>
- Lewit, K. (2001). *Terapia manualna w rehabilitacji chorób narządu ruchu* ISBN: 8390521172.
Wydawca: ZL Natura.
- Li, S. S. W., Chan, O. H. T., Ng, T. Y., Kam, L. H., Ng, C. Y., Chung, W. C., & Chow, D. H. K. (2019). Effects of backpack and double pack loads on postural stability. *Ergonomics*, *62*(4), 537–547.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1552764>
- Luu, T. D., Kogon, B. E., Force, S. D., Mansour, K. A., & Miller, D. L. (2009). Surgery for Recurrent Pectus Deformities. *The Annals of Thoracic Surgery*, *88*(5), 1627–1631.
<https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2009.06.008>
- Ma, I. T., Rebecca, A. M., Notrica, D. M., McMahon, L. E., & Jaroszewski, D. E. (2015). Pectus excavatum in adult women: Repair and the impact of prior or concurrent breast

- augmentation. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 135(2), 303e–312e.
<https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000000990>
- Maciańczyk-Paprocka, K., Krzyżaniak, A., Kotwicki, T., Sowińska, A., Stawińska-Witoszyńska, B., Krzywińska-Wiewiorowska, M., & Przybylski, J. (2012). *Występowanie błędów w postawie ciała u uczniów poznańskich szkół podstawowych*.
- Malek, M. H., Berger, D. E., Housh, T. J., Marelich, W. D., Coburn, J. W., & Beck, T. W. (2006). Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: A metaanalysis. *Chest*, 130(2), 506–516. <https://doi.org/10.1378/chest.130.2.506>
- Mancini, M., Nutt, J. G., & Horak, F. B. (2020). Chapter 1—How is balance controlled by the nervous system? W M. Mancini, J. G. Nutt, & F. B. Horak (Red.), *Balance Dysfunction in Parkinson's Disease* (s. 1–24). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813874-8.00001-5>
- Mancini, M., Salarian, A., Carlson-Kuhta, P., Zampieri, C., King, L., Chiari, L., & Horak, F. B. (2012). ISway: A sensitive, valid and reliable measure of postural control. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9, 59. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-59>
- Mansour, K. A., Thourani, V. H., Odessey, E. A., Durham, M. M., Miller, J. I., & Miller, D. L. (2003). Thirty-year experience with repair of pectus deformities in adults. *The Annals of Thoracic Surgery*, 76(2), 391–395; discussion 395. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(03\)00441-7](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(03)00441-7)
- Margulis, A., Sela, M., Neuman, R., & Buller-Sharon, A. (2006). Reconstruction of pectus excavatum with silicone implants. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery: JPRAS*, 59(10), 1082–1086. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2005.12.035>
- Masani, K., Vette, A. H., Abe, M. O., & Nakazawa, K. (2014). Center of pressure velocity reflects body acceleration rather than body velocity during quiet standing. *Gait & Posture*, 39(3), 946–952. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.008>
- Massery, M., Hagins, M., Stafford, R., Moerchen, V., & Hodges, P. W. (2013). Effect of airway control by glottal structures on postural stability. *Journal of Applied Physiology*, 115(4), 483–490. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01226.2012>
- Mathias, S., Nayak, U. S., & Isaacs, B. (1986). Balance in elderly patients: The „get-up and go” test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(6), 387–389.
- Mínguez, M. F., Buendía, M., Cibrián, R. M., Salvador, R., Laguía, M., Martín, A., & Gomar, F. (2007). Quantifier variables of the back surface deformity obtained with a noninvasive structured light method: Evaluation of their usefulness in idiopathic scoliosis diagnosis. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 16(1), 73–82. <https://doi.org/10.1007/s00586-006-0079-y>

- Mitchell, S. L., Collins, J. J., De Luca, C. J., Burrows, A., & Lipsitz, L. A. (1995). Open-loop and closed-loop postural control mechanisms in Parkinson's disease: Increased mediolateral activity during quiet standing. *Neuroscience Letters*, *197*(2), 133–136. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(95\)11924-I](https://doi.org/10.1016/0304-3940(95)11924-I)
- Mohamed, J. S., Tan, J. W., & Tam, J. K. C. (2023). Quality of life with minimally invasive repair of pectus excavatum: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Translational Medicine*, *11*(12), 407. <https://doi.org/10.21037/atm-23-1647>
- Morasso, P. G., & Schieppati, M. (1999). Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? *Journal of Neurophysiology*, *82*(3), 1622–1626. <https://doi.org/10.1152/jn.1999.82.3.1622>
- Mrozkowiak, M., & Strzecha, M. (2012). Mora projekcyjna współczesnym narzędziem diagnostycznym postawy ciała. *Antropomotoryka*, *60*, 33–49.
- Nagymáté, G., Orlovits, Z., & Kiss, R. M. (2018). Reliability analysis of a sensitive and independent stabilometry parameter set. *PLOS ONE*, *13*(4), e0195995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195995>
- Najafi, B., Horn, D., Marclay, S., Crews, R. T., Wu, S., & Wrobel, J. S. (2010). Assessing postural control and postural control strategy in diabetes patients using innovative and wearable technology. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *4*(4), 780–791. <https://doi.org/10.1177/193229681000400403>
- Nashner, L. M., Shupert, C. L., Horak, F. B., & Black, F. O. (1989). Organization of posture controls: An analysis of sensory and mechanical constraints. *Progress in Brain Research*, *80*, 411–418; discussion 395-397. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)62237-2](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(08)62237-2)
- Navarro, I. J. R. L., Rosa, B. N. da, & Candotti, C. T. (2019). Anatomical reference marks, evaluation parameters and reproducibility of surface topography for evaluating the adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review with meta-analysis. *Gait & Posture*, *69*, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.001>
- Nolan, L., Grigorenko, A., & Thorstensson, A. (2005). Balance control: Sex and age differences in 9- to 16-year-olds. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *47*(7), 449–454. <https://doi.org/10.1017/s0012162205000873>
- Norlander, L., Sundqvist, A.-S., Anderzén-Carlsson, A., Dreifaldt, M., Andreasson, J., & Vidlund, M. (2022). Health-related quality of life after Nuss procedure for pectus excavatum: A cross-sectional study. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, *35*(1), ivac031. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivac031>
- Nowotny, J., & Cieśla, T. (1990). Neurofizjologiczne aspekty kształtowania postawy ciała. *Spondylatria*, *2*(2/3), 24–27.

- Nuss, D. (2005). Recent experiences with minimally invasive pectus excavatum repair „Nuss procedure”. *The Japanese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery: Official Publication of the Japanese Association for Thoracic Surgery = Nihon Kyobu Geka Gakkai Zasshi*, 53(7), 338–344. <https://doi.org/10.1007/s11748-005-0047-1>
- Nuss, D., & Kelly, R. E. (2008). Minimally invasive surgical correction of chest wall deformities in children (Nuss procedure). *Advances in Pediatrics*, 55, 395–410. <https://doi.org/10.1016/j.yapd.2008.07.012>
- Nuss, D., & Kelly, R. E. (2009). Chest Wall Deformities. W P. Puri & M. Höllwarth (Red.), *Pediatric Surgery* (s. 247–256). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69560-8_25
- Nuss, D., & Kelly, R. E. (2010). Indications and technique of Nuss procedure for pectus excavatum. *Thoracic Surgery Clinics*, 20(4), 583–597. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2010.07.002>
- Nuss, D., Kelly, R. E., Croitoru, D. P., & Katz, M. E. (1998). A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, 33(4), 545–552. [https://doi.org/10.1016/S0022-3468\(98\)90314-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3468(98)90314-1)
- Obermeyer, R. J., & Goretsky, M. J. (2012). Chest wall deformities in pediatric surgery. *The Surgical Clinics of North America*, 92(3), 669–684, ix. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2012.03.001>
- Ołpińska-Lischka, M., Kujawa, K., & Maciaszek, J. (2021). Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph18073796>
- Orendorz-Fraćzkowska, K., & Kubacka, M. (2019). The development of postural control in 6-17 old years healthy children. Part I Postural control evaluation in modified Clinical Test for The Sensory Interaction on Balance in 6-17 old year children (mctsib). *Otolaryngologia Polska = The Polish Otolaryngology*, 74(1), 1–7. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2965>
- Pagnotti, G. M., Haider, A., Yang, A., Cottell, K. E., Tuppo, C. M., Tong, K.-Y., Pryor, A. D., Rubin, C. T., & Chan, M. E. (2020). Postural Stability in Obese Preoperative Bariatric Patients Using Static and Dynamic Evaluation. *Obesity Facts*, 13(5), 499–513. <https://doi.org/10.1159/000509163>
- Paillard, T., & Noé, F. (2015). Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*, 2015, 891390. <https://doi.org/10.1155/2015/891390>
- Parent, E. C., Damaraju, S., Hill, D. L., Lou, E., & Smetaniuk, D. (2010). Identifying the best surface topography parameters for detecting idiopathic scoliosis curve progression. *Studies in Health Technology and Informatics*, 158, 78–82.

- Park, C. H., Kim, T. H., Haam, S. J., & Lee, S. (2015a). Asymmetric Pectus Excavatum Is Associated with Overgrowth of Ribs Rather Than Cartilage. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, *63*(5), 427–432. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395394>
- Park, C. H., Kim, T. H., Haam, S. J., & Lee, S. (2015b). Rib overgrowth may be a contributing factor for pectus excavatum: Evaluation of prepubertal patients younger than 10years old. *Journal of Pediatric Surgery*, *50*(11), 1945–1948. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.07.010>
- Park, H. J., Kim, J. J., Park, J. K., & Moon, S. W. (2016). A cross-sectional study for the development of growth of patients with pectus excavatum†. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, *50*(6), 1102–1109. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw162>
- Pasha, S., Rajapaske, C. R., Reddy, R., Diebo, B., Knott, P., Jones, B. C., Kumar, D., Zhu, W., Lou, E., Shapira, N., Noel, P., Ho-Fung, V., & Jaramillo, D. (2021). Quantitative imaging of the spine in adolescent idiopathic scoliosis: Shifting the paradigm from diagnostic to comprehensive prognostic evaluation. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology: Orthopedie Traumatologie*, *31*(7), 1273–1285. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-02883-8>
- Pawlak, K., Gąsiorowski, Ł., Gabryel, P., Gałęcki, B., Zieliński, P., & Dyszkiewicz, W. (2016). Early and Late Results of the Nuss Procedure in Surgical Treatment of Pectus Excavatum in Different Age Groups. *The Annals of Thoracic Surgery*, *102*(5), 1711–1716. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.04.098>
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor Integration in Human Postural Control. *Journal of Neurophysiology*, *88*(3), 1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
- Peterka, R. J., & Benolken, M. S. (1995). Role of somatosensory and vestibular cues in attenuating visually induced human postural sway. *Experimental Brain Research*, *105*(1), 101–110. <https://doi.org/10.1007/BF00242186>
- Peterson, M. L., Christou, E., & Rosengren, K. S. (2006). Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. *Gait & Posture*, *23*(4), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.003>
- Pilegaard, H. K., & Licht, P. B. (2008). Routine use of minimally invasive surgery for pectus excavatum in adults. *The Annals of Thoracic Surgery*, *86*(3), 952–956. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.04.078>
- Pino-Almero, L., Mínguez-Rey, M. F., Cibrián-Ortiz de Anda, R. M., Salvador-Palmer, M. R., & Sentamans-Segarra, S. (2017). Correlation between Topographic Parameters Obtained by Back Surface Topography Based on Structured Light and Radiographic Variables in the Assessment of Back Morphology in Young Patients with Idiopathic Scoliosis. *Asian Spine Journal*, *11*(2), 219–229. <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.2.219>

- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed „Up & Go”: A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–148.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Porto, F., Gurgel, J. L., Russomano, T., & Farinatti, P. D. T. V. (2010). Moiré topography: Characteristics and clinical application. *Gait & Posture*, 32(3), 422–424.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.017>
- Pritcher, M. R., Whitney, S. L., Marchetti, G. F., & Furman, J. M. (2008). The influence of age and vestibular disorders on gaze stabilization: A pilot study. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 29(7), 982–988.
<https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31818457fb>
- Prochazka, A. (2011). Proprioceptive Feedback and Movement Regulation. W *Comprehensive Physiology*. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp120103>
- Rakowski, A. (2011). *KRĘGOSŁUP W STRESIE RAKOWSKI* (5. wyd.). GWP.
- Robicsek, F., & Hebra, A. (2009). To Nuss or not to Nuss? Two opposing views. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 21(1), 85–88. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.007>
- Robillard, R., Prince, F., Boissonneault, M., Filipini, D., & Carrier, J. (2011). Effects of increased homeostatic sleep pressure on postural control and their modulation by attentional resources. *Clinical Neurophysiology : Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 122(9), 1771–1778. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.02.010>
- Rodrigues, F. B., Magnani, R. M., Lehen, G. C., Souza, G. S. de S. E., Andrade, A. O., & Vieira, M. F. (2018). Effects of backpack load and positioning on nonlinear gait features in young adults. *Ergonomics*, 61(5), 720–728. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1413213>
- Rodríguez-Granillo, G. A., Martínez-Ferro, M., Capuñay, C., Bellia-Munzón, G., Deviggiano, A., Raggio, I., Fernandez-Rostello, E., Hurtado Hoyo, E., Bastarrika, G., & Carrascosa, P. (2019). Preoperative multimodality imaging of pectus excavatum: State of the art review and call for standardization. *European Journal of Radiology*, 117, 140–148.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.06.014>
- Rougier, P. R. (2007). Relative contribution of the pressure variations under the feet and body weight distribution over both legs in the control of upright stance. *Journal of Biomechanics*, 40(11), 2477–2482. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.11.003>

- Rushing, G. D., Goretsky, M. J., Gustin, T., Morales, M., Kelly, R. E., & Nuss, D. (2007). When it is not an infection: Metal allergy after the Nuss procedure for repair of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, *42*(1), 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2006.09.056>
- Sadowski, B., & Lewin-Kowalik, J. (2019). Układ nerwowy i narządy zmysłów. W *Fizjologia Człowieka red. Tomasz Brzozowski* (III, s. 603–783). Edra Urban&Partner.
- Salsali, M., Sheikhhoseini, R., Sayyadi, P., Hides, J. A., Dadfar, M., & Piri, H. (2023). Association between physical activity and body posture: A systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, *23*(1), 1670. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16617-4>
- Schalamon, J., Pokall, S., Windhaber, J., & Hoellwarth, M. E. (2006). Minimally invasive correction of pectus excavatum in adult patients. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, *132*(3), 524–529. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.04.038>
- Schier, F., Bahr, M., & Klobe, E. (2005). The vacuum chest wall lifter: An innovative, nonsurgical addition to the management of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery*, *40*(3), 496–500. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2004.11.033>
- Schoenmakers, M. a. G. C., Gulmans, V. a. M., Bax, N. M. A., & Helders, P. J. M. (2000). Physiotherapy as an adjuvant to the surgical treatment of anterior chest wall deformities: A necessity?: A prospective descriptive study in 21 patients. *Journal of Pediatric Surgery*, *35*(10), 1440–1443. <https://doi.org/10.1053/jpsu.2000.16409>
- Schubert, M. C., Herdman, S. J., & Tusa, R. J. (2002). Vertical dynamic visual acuity in normal subjects and patients with vestibular hypofunction. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, *23*(3), 372–377. <https://doi.org/10.1097/00129492-200205000-00025>
- Shaalán, A. M., Kasb, I., Elwakeel, E. E., & Elkamali, Y. A. (2017). Outcome of surgical repair of Pectus Excavatum in adults. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, *12*(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s13019-017-0635-z>
- Shamberger, R. C. (1996). Congenital chest wall deformities. *Current Problems in Surgery*, *33*(6), 469–542. [https://doi.org/10.1016/s0011-3840\(96\)80005-0](https://doi.org/10.1016/s0011-3840(96)80005-0)
- Shin, S., Goretsky, M. J., Kelly, R. E., Gustin, T., & Nuss, D. (2007). Infectious complications after the Nuss repair in a series of 863 patients. *Journal of Pediatric Surgery*, *42*(1), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2006.09.057>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1985). The growth of stability: Postural control from a development perspective. *Journal of Motor Behavior*, *17*(2), 131–147. <https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735341>

- Sibley, K. M., Beauchamp, M. K., Van Ooteghem, K., Paterson, M., & Wittmeier, K. D. (2017). Components of Standing Postural Control Evaluated in Pediatric Balance Measures: A Scoping Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *98*(10), 2066–2078.e4. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.02.032>
- St Peter, S. D., Juang, D., Garey, C. L., Laituri, C. A., Ostlie, D. J., Sharp, R. J., & Snyder, C. L. (2011). A novel measure for pectus excavatum: The correction index. *Journal of Pediatric Surgery*, *46*(12), 2270–2273. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2011.09.009>
- Steindl, R., Kunz, K., Schrott-Fischer, A., & Scholtz, A. W. (2006). Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *48*(6), 477–482. <https://doi.org/10.1017/S0012162206001022>
- Stemplewski, R. (2013). *Wpływ wysiłków o niskiej i umiarkowanej intensywności na stabilność posturalną u mężczyzn po 65. Roku życia*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu.
- Stemplewski, R., Ciężyńska, J., Cyma-Wejchenig, M., & Maciaszek, J. (2023). The effect of sleep deprivation on postural stability among physically active young adults. *Scientific Reports*, *13*(1), 17477. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44790-4>
- Stemplewski, R., Maciaszek, J., Osiński, W., & Szeklicki, R. (2011). Test-Retest Reliability of Measurements of the Center of Pressure Displacement in Quiet Standing and During Maximal Voluntary Body Leaning Among Healthy Elderly Men. *Journal of Human Kinetics*, *28*(2011), 15–23. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0018-9>
- Stemplewski, R., Maciaszek, J., Salamon, A., Tomczak, M., & Osiński, W. (2012). Effect of moderate physical exercise on postural control among 65–74 years old men. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *54*(3), e279–e283. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2012.02.012>
- Stemplewski, R., Maciaszek, J., Tomczak, M., Szeklicki, R., Sadowska, D., & Osinski, W. (2013). Habitual physical activity as a determinant of the effect of moderate physical exercise on postural control in older men. *American Journal of Men's Health*, *7*(1), 58–65. <https://doi.org/10.1177/1557988312460268>
- Suzuki, N., Inami, K., Ono, T., Kohno, K., & Asher, M. A. (1999). Analysis of Posterior Trunk Symmetry Index (POTSI) in Scoliosis. Part 1. W *Research into Spinal Deformities 2* (s. 81–84). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-903-5-81>
- Takasaki, H. (1970). Moiré topography. *Applied Optics*, *9*(6), 1467–1472. <https://doi.org/10.1364/AO.9.001467>
- Termoz, N., Halliday, S. E., Winter, D. A., Frank, J. S., Patla, A. E., & Prince, F. (2008). The control of upright stance in young, elderly and persons with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, *27*(3), 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.05.015>

- Thornby, M. A. (1995). Balance and falls in the frail older person: A review of the literature. *Topics in Geriatric Rehabilitation, 11*(2), 35.
- Tinetti, M. E., Baker, D. I., McAvay, G., Claus, E. B., Garrett, P., Gottschalk, M., Koch, M. L., Trainor, K., & Horwitz, R. I. (1994). A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community. *The New England Journal of Medicine, 331*(13), 821–827. <https://doi.org/10.1056/NEJM199409293311301>
- Tocchioni, F., Ghionzoli, M., Messineo, A., & Romagnoli, P. (2013). Pectus Excavatum and Heritable Disorders of the Connective Tissue. *Pediatric Reports, 5*(3), e15. <https://doi.org/10.4081/pr.2013.e15>
- Van Es, L. J. M., Van Royen, B. J., & Oomen, M. W. N. (2022). Clinical significance of concomitant pectus deformity and adolescent idiopathic scoliosis: Systematic review with best evidence synthesis. *North American Spine Society Journal (NASSJ), 11*, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2022.100140>
- Westphal, F. L., Lima, L. C. de, Lima Neto, J. C., Chaves, A. R., Santos Júnior, V. L. dos, & Ferreira, B. L. C. (2009). Prevalence of pectus carinatum and pectus excavatum in students in the city of Manaus, Brazil. *Jornal Brasileiro De Pneumologia: Publicacao Oficial Da Sociedade Brasileira De Pneumologia E Tisiologia, 35*(3), 221–226. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132009000300005>
- Wiernicka, M., Kotwicki, T., Kamińska, E., Łochyński, D., Kozinoga, M., Lewandowski, J., & Kocur, P. (2019). Postural Stability in Adolescent Girls with Progressive Idiopathic Scoliosis. *BioMed Research International, 2019*, 7103546. <https://doi.org/10.1155/2019/7103546>
- Wilczyński, J. (2005). *Korekcja wad postawy człowieka*. Anthropos. <https://medbook.com.pl/pl/rehabilitacja-i-fizjoterapia/2109-korekcja-wad-postawy-czlowieka-jacek-wilczynski-4949.html>
- Williams, A. M., & Crabbe, D. C. G. (2003). Pectus deformities of the anterior chest wall. *Paediatric Respiratory Reviews, 4*(3), 237–242. [https://doi.org/10.1016/s1526-0542\(03\)00053-8](https://doi.org/10.1016/s1526-0542(03)00053-8)
- Willital, G. H., Saxena, A. K., Schütze, U., & Richter, W. (2011). Chest-deformities: A proposal for a classification. *World Journal of Pediatrics, 7*(2), 118–123. <https://doi.org/10.1007/s12519-011-0263-y>
- Wilson, V. J., & Schor, R. H. (1999). The neural substrate of the vestibulocollic reflex. What needs to be learned. *Experimental Brain Research, 129*(4), 483–493. <https://doi.org/10.1007/s002210050918>
- Winter, D. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture, 3*(4), 193–214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)

- Winter, D. A., Patla, A. E., Prince, F., Ishac, M., & Gielo-Perczak, K. (1998). Stiffness Control of Balance in Quiet Standing. *Journal of Neurophysiology*, *80*(3), 1211–1221.
<https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.3.1211>
- Wolański, N. (1959). Kształtowanie się postawy ciała człowieka. *Pediatrics Polska*, *34*, 1203–1216.
- Wolański, N. (2012). *Rozwój biologiczny człowieka. Podstawy auksologii, gerontologii i promocji zdrowia* (8. wyd.). Wydawnictwo Nauowe PWN.
- Wolff, D. R., Rose, J., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W., & Gamble, J. G. (1998). Postural balance measurements for children and adolescents. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, *16*(2), 271–275.
<https://doi.org/10.1002/jor.1100160215>
- World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. (2013). *JAMA*, *310*(20), 2191. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- Zembaty, A. (2002). *Kinezyterapia—Zarys podstaw teoretycznych i diagnostyka kinezyterapii: T. I.* Kasper.
- Zimny, M. L., & Wink, C. S. (1991). Neuroreceptors in the tissues of the knee joint. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *1*(3), 148–157. [https://doi.org/10.1016/1050-6411\(91\)90031-Y](https://doi.org/10.1016/1050-6411(91)90031-Y)
- Żak, M., & Souchar, P. (2014). *Fizjoterapeutyczna metoda globalnych wzorców posturalnych* (1. wyd.). Edra Urban & Partner. <https://www.medicon.pl/fizjoterapeutyczna-metoda-globalnych-wzorcow-posturalnych/24658>

Streszczenie

Utrzymanie stabilności postawy i unikanie upadków jest niezbędnym wymogiem w codziennym życiu człowieka. Stabilność posturalna wymaga precyzyjnej koordynacji układów ruchowego, wzrokowego, proprioceptywnego i przedsionkowego. Osoby ze słabą stabilnością posturalną mogą wydawać się zrównoważone w warunkach statycznych, ale nawet niewielkie zaburzenia dynamiczne mogą ujawnić podstawowe deficyty sensomotorycznej kontroli postawy (Godzik i in., 2020). Wady postawy związane z deformacją ciała mogą negatywnie wpływać na sensomotoryczną kontrolę postawy i zmniejszać stabilność posturalną. Dotychczas nie badano wpływu wady klatki piersiowej lejkowatej na stabilność posturalną. Nie badano również wpływu zabiegu korekcji klatki piersiowej na stabilność posturalną. W związku z tym podjęto badania eksperymentalne, których głównym celem było określenie wpływu interwencji chirurgicznej w postaci zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej metodą Nussa na stabilność posturalną oraz stan funkcjonalny mięśni i symetrię tułowia pacjentów. Celem dodatkowym przeprowadzonych badań było porównanie pod względem stabilności posturalnej, a także stanu funkcjonalnego mięśni i symetrii tułowia, osób z klatką piersiową lejkowatą z osobami zdrowymi bez wad postawy.

Sformułowano następujące szczegółowe pytania badawcze:

1. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na stabilność posturalną pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
2. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na stan funkcjonalny mięśni szkieletowych pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
3. Jaki jest wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej metodą Nussa na symetrię tułowia pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej?
4. Jaka jest różnica pod względem stabilności posturalnej pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?
5. Jaka jest różnica pod względem stanu funkcjonalnego mięśni pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?
6. Jaka jest różnica pod względem symetrii tułowia pomiędzy osobami z klatką piersiową lejkowatą a osobami zdrowymi bez wad postawy?

Badania zostały zaplanowane i przeprowadzone w tak zwanym modelu pre-test i post-test w celu ustalenia wpływu zmiennej niezależnej – interwencji w postaci zabiegu korekcji wady klatki piersiowej lejkowatej na zmienną zależną, to jest stabilność posturalną młodych mężczyzn. Wzięto również pod uwagę dodatkowe zmienne wyjaśniające w postaci stanu funkcjonalnego mięśni i symetrii tułowia w płaszczyźnie czołowej u badanych osób. Badania wykonywano dwukrotnie – przed zabiegiem chirurgicznym (pre-test) i trzy miesiące po zabiegu (post-test). Członków grupy kontrolnej również badano dwukrotnie.

Po przeprowadzeniu pomiarów i dokonaniu analizy statystycznej na podstawie uzyskanych wyników badań wyciągnięto następujące wnioski:

1. Część parametrów określających przemieszczanie się środka nacisku (COP) w pozycji stojącej (obunóż) uległa pogorszeniu u pacjentów będących w fazie pooperacyjnej po zabiegu korekcji klatki piersiowej lejkowatej przeprowadzonego metodą Nussa, co przekłada się na ich słabszą stabilność posturalną w tym okresie. Wywołane zabiegiem zmiany stabilności powinny być brane pod uwagę przy planowaniu programu rehabilitacji leczniczej.
2. Nie zaobserwowano różnic w wynikach testów funkcjonalnych mięśni u pacjentów przed i po zabiegu operacyjnym korekcji klatki piersiowej w fazie pooperacyjnej, co może być konsekwencją braku zaburzeń w zakresie długości i stanu mięśni szkieletowych przed zabiegiem.
3. Obserwowany korzystny wpływ zabiegu operacyjnego korekcji klatki piersiowej na symetrię tułowia pacjentów w pierwszej fazie pooperacyjnej przejawiał się obniżeniem wartości parametru POTS1. Należy jednak zauważyć, że przed zabiegiem również mieścił się on w zakresie fizjologicznym.
4. Pacjenci z klatką piersiową lejkowatą charakteryzują się większymi wahaniami postawy ciała w pozycji stojącej, a co za tym idzie gorszą stabilnością niż osoby zdrowe bez wad postawy.
5. Badane osoby zdrowe charakteryzują się gorszym stanem funkcjonalnym mięśni szkieletowych niż osoby z klatką piersiową lejkowatą.

6. Pacjenci z klatką piersiową lejkowatą nie różnią się istotnie od osób zdrowych pod względem symetrii tułowia. Obie grupy mieściły się w zakresie fizjologicznym, co związane było z celowym doбором uczestników do badań.

Summary

Maintaining postural stability and avoiding falls is an essential requirement in everyday human life. Postural stability requires precise coordination of the motor, visual, proprioceptive and vestibular systems. Individuals with poor postural stability may appear balanced in static conditions, but even minor dynamic disturbances can reveal underlying deficits in sensorimotor postural control (Godzik et al., 2020). Postural defects related to body deformation may negatively affect sensorimotor control of posture and reduce postural stability. So far, the influence of the pectus excavatum defect on postural stability has not been studied. The impact of thoracic correction surgery on postural stability has also not been studied. Therefore, experimental research was undertaken, the main goal of which was to determine the impact of surgical correction of the pectus excavatum using the Nuss method on postural stability, and the muscles function, and symmetry of the patients' trunk. An additional aim of the conducted research was to compare, in terms of postural stability, as well as the muscles function and trunk symmetry, subjects with a pectus excavatum and healthy people without postural defects.

The following detailed research questions were formulated:

1. What is the impact of Nuss correction surgery on the postural stability of patients in the first postoperative phase?
2. What is the impact of the Nuss correction surgery on the patients' skeletal muscles function in the first postoperative phase?
3. What is the impact of the Nuss correction surgery on the trunk symmetry of patients in the first postoperative phase?
4. What is the difference in postural stability between people with pectus excavatum and healthy people without posture defects?
5. What is the difference in the muscles function between people with pectus excavatum and healthy people without postural defects?
6. What is the difference in trunk symmetry between people with pectus excavatum and healthy people without postural defects?

The research was planned and conducted in the pre-test and post-test model in order to determine the impact of the independent variable – pectus excavatum defect correction procedure on the dependent variable, i.e. the postural stability of young men. Additional explanatory variables were also taken into account, such as the muscles function and the symmetry of the trunk in the examined persons. The tests were performed twice – before the surgery (pre-test) and three months after the surgery (post-test). Subjects from the control group were also tested twice.

After carrying out measurements and performing statistical analysis, the following conclusions were drawn based on the obtained research results:

1. Some parameters of the center of pressure (COP) displacements in a quiet standing deteriorated in the first postoperative phase in pectus excavatum patients who underwent Nuss surgical correction of the chest, which translates into their poorer postural stability in the postoperative period. Changes in stability induced by the surgery should be taken into account when planning a therapeutic rehabilitation program.
2. No differences were observed in the results of functional muscle tests in patients before and after Nuss correction surgery in the postoperative phase, which may be a consequence of the lack of disorders in the length and condition of skeletal muscles before the surgery.
3. The observed beneficial effect of Nuss correction surgery on the symmetry of the patients' trunk in the first postoperative phase was manifested by a decrease in the value of the POTSI parameter. However, it should be noted that it was also within the physiological range before the surgery.
4. People with a pectus excavatum are characterized by greater COP displacements in a quiet standing, and therefore worse postural stability than healthy people without posture defects.
5. Healthy people without postural defects are characterized by a worse functional condition of skeletal muscles than people with pectus excavatum.
6. People with pectus excavatum did not differ significantly from healthy people without postural defects in terms of trunk symmetry. Both groups were within the physiological range, which was due to the inclusion criteria.

Spis tabel

Tab. 1. Częstość wybranych objawów występujących u pacjentów z deformacją przedniej ściany klatki piersiowej (na podstawie Goretsky i in., 2004)

Tab. 2. Wartości wskaźników Kopery i Króla określających głębokość wady klatki piersiowej lejkwatej (źródło: Kacprzak & Kołodziej, 2005)

Tab. 3. Główne metody zabiegowe stosowane na świecie w celu korekcji klatki piersiowej lejkwatej (źródło: David, 2022)

Tab. 4. Elementy układu nerwowego zaangażowane w regulację stabilności posturalnej (źródło: Żak & Souchard, 2014)

Tab. 5A. Wartości średnie i statystyki podstawowe wszystkich zmierzonych wskaźników stabilności posturalnej dla grupy eksperymentalnej, dla wszystkich trzech warunków pomiarów, w obu terminach badań, oraz różnice między terminami

Tab. 5B. Wartości średnie i statystyki podstawowe wszystkich zmierzonych wskaźników stabilności posturalnej dla grupy kontrolnej, dla wszystkich trzech warunków pomiarów, w obu terminach badań, oraz różnice między terminami

Tab. 6. Porównanie wyników testów funkcjonalnych mięśni w grupie eksperymentalnej (n=21) i kontrolnej (n=22) z uwzględnieniem kierunku zmian pomiędzy terminami badań (pre-test, post-test) za pomocą testu niezależności Chi kwadrat

Tab. 7. Porównanie wyników testów funkcjonalnych mięśni pomiędzy pacjentami z klatką piersiową lejkwatą (n=21) a zdrowymi osobami z grupy kontrolnej (n=22). Kolumny zawierające dane liczebności i odsetka badanych (opisane odpowiednio „n” i „%”) odnoszą się do liczby osób z negatywnym wynikiem testu funkcjonalnego, co oznacza wynik mieszczący się w normie

Spis rycin

Ryc. 1. Schemat przebiegu badań uwzględniający liczebność uczestników na poszczególnych etapach

Ryc. 2. Komputerowy system oceny postawy ciała – Mora 4 Generacji (źródło: CQ Elektronik System, <http://www.cq.com.pl>)

Ryc. 3. Punkty i wymiary wykorzystywane do obliczeń współczynników asymetrii w płaszczyźnie czołowej FAI – Frontal Asymmetry Index (A) oraz współczynników różnicy wysokości HDI – High Difference Index (B)

Ryc. 4. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 5. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi Y, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 6. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 7. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środka nacisku) w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 8. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y,

w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 9. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji obunóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 10. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 11. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi Y, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 12. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 13. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środka nacisku) w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 14. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG)

w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 15. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 16. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej Vavg, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w pozycji jednoonóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 17. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgAP, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi Y, w pozycji jednoonóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 18. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej VavgML, tj. średniej prędkości przemieszczania COP (środka nacisku) w osi X, w pozycji jednoonóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 19. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej SA, tj. wielkości pola powierzchni określanego przez COP (środka nacisku) w pozycji jednoonóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 20. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxAP, tj. maksymalne wychylenie COP (środka nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi Y, w pozycji jednoonóż z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG)

w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 21. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika stabilności posturalnej MaxML, tj. maksymalne wychylenie COP (środek nacisku) od punktu 0,0 w kierunku osi X, w pozycji jedno nogi z oczami otwartymi w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Ryc. 22. Średnia i błąd standardowy wartości pomiarów wskaźnika symetrii tułowia POTSI w grupie eksperymentalnej (EG) i kontrolnej (CG) w dwóch terminach badań (Pre i Post) oraz wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów

Aneks

1. Zgoda komisji bioetycznej na przeprowadzenie badań

11-SIE-11 13:55 STRONA: 1

**Komisja Bioetyczna
przy
Okręgowej Radzie Lekarskiej
Wielkopolskiej Izby Lekarskiej
61-734 Poznań, ul. Nowowiejskiego 51
tel./fax (0-61) 852-58-60**

**OPINIA
z dnia 25 maja 2011 r.
(1 strona)**

Na podstawie art. 29 ust. 2 ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentysty (tekst jednolity Dz. U. z 2005 r. nr 226 poz. 1943 z późniejszymi zmianami) oraz rozporządzenia MZIOS z dnia 11 maja 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych (Dz. U. z 1999 r. nr 47 poz. 480) w związku z art. 37r ustawy z 6 września 2001 r. Prawo farmaceutyczne (Dz. U. z 2004 r. nr 53, poz. 533 ze zm.) Komisja Bioetyczna przy Okręgowej Radzie Lekarskiej Wielkopolskiej Izby Lekarskiej w Poznaniu na posiedzeniu w dniu 25 maja 2011 r. zapoznała się ze zgłoszonym wnioskiem prof. dr hab. Aleksandra Barinowa-Wojewódzkiego dotyczącym wydania opinii na temat badania pt.: „Ocena kontroli postawy ciała u pacjentów poddanych korekcji lejkowatej klatki piersiowej metodą Nussa”.

Ośrodek badawczy: Wielkopolskie Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii im. E. i J. Zeylandów w Poznaniu, ul. Szamarzewskiego 62, 60-569 Poznań; Akademia Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu, ul. Królowej Jadwigi 27/39, 60-871 Poznań

Do wniosku dołączono następujące dokumenty:

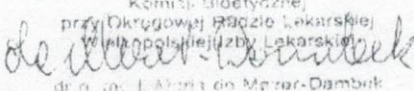
1. Wniosek o wydanie opinii.
2. Informacja na temat badania.
3. Informacja dla pacjentów dotycząca programu badawczego.
4. Zgoda pacjenta na uczestnictwo w badaniu.

Po zapoznaniu się z całością dokumentacji, zgodnie z zasadami GCP (Guidelines for Good Clinical Practice) Komisja Bioetyczna wyraża zgodę na przeprowadzenie eksperymentu.

Komisja przypomina o konieczności uzyskania opinii Komisji w przypadku planowania dokonania istotnych i mających wpływ na bezpieczeństwo uczestników badania klinicznego zmian w badaniu oraz obowiązku poinformowania Komisji o wystąpieniu jakiegokolwiek zdarzenia, które może mieć wpływ na bezpieczeństwo uczestników badania, a także obowiązku przedstawienia raportu końcowego.

Komisja Bioetyczna przy Okręgowej Radzie Lekarskiej Wielkopolskiej Izby Lekarskiej w Poznaniu działa zgodnie z zasadami Good Clinical Practice (GCP) oraz przestrzega Deklaracji Helsińskiej i Tokijskiej.

Do opinii dołącza się wykaz osób biorących udział w głosowaniu.

Przewodnicząca
Komisji Bioetycznej
przy Okręgowej Radzie Lekarskiej
Wielkopolskiej Izby Lekarskiej

dr n. med. E. Maria de Mezer-Dambek

2. Informacja dla uczestników badań

Informacja dla pacjentów dotycząca programu badawczego

Uczestniczy Pani (Pan) w badaniach, które mają na celu ocenę statycznej kontroli postawy ciała, ujawnienie ukrytych wad ruchu oraz wykrycie, czy u osób z wadą lejkowatej klatki piersiowej występują zaburzenia równowagi statycznej.

Poddana zostanie Pani (Pan) dwukrotnie (przed zabiegiem operacyjnym metodą Nussa oraz po zabiegu) jednodniowemu badaniu w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Badanie zostanie przeprowadzone na platformie statycznej Delos Postural Priopropreceptive System oraz systemem kontroli postawy Mora. Badanie opiera się na wykonaniu kamerą video fotografii komputerowej. Komputer wyznacza obraz trójwymiarowy pleców pacjenta za pomocą specjalnego systemu optycznego i analizuje ponad 50 parametrów w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej. Badanie jest nieinwazyjne oraz zupełnie bezpieczne.

Uczestnictwo w tym badaniu pomoże dostosować właściwy program rehabilitacji pooperacyjnej dla Pani (Pana) oraz innych pacjentów z wadą lejkowatej klatki piersiowej. Dzięki celnie dobranej rehabilitacji uzyskamy poprawę ukrytych wad ruchu oraz polepszenie sprawności fizycznej pacjentów.

O wynikach badań zostanie Pani (Pan) poinformowana (ny) po zakończeniu projektu badawczego.

Dziękuję za uczestniczenie w projekcie, który z pewnością przysłuży się wielu chorym z podobnymi schorzeniami.

Kierownik projektu badawczego
prof. dr hab. Aleksander Barinow-Wojewódzki

3. Zgoda na udział w badaniach

Oświadczenie

Zapoznałem się z informacją dotyczącą projektu badawczego oraz **wyrażam zgodę** na włączenie mnie do grupy badawczej na okres mojego leczenia w Wielkopolskim Centrum Pulmonologii Torakochirurgii im. E. i J. Zeylandów w Poznaniu.

Zostałem poinformowany o celu i sposobie prowadzenia badania oraz możliwych konsekwencjach. Będę wykonywał zalecenia osób prowadzących proces mojego leczenia, lecz w przypadku wątpliwości mam prawo do wycofania zgody.

Mój udział jest objęty tajemnicą i nie może być przedmiotem zainteresowania osób trzecich.

Moim podpisem **wyrażam zgodę** na uczestnictwo w badaniach.

PESEL

Imię i nazwisko

Data