

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

mgr Grzegorz Szlachta

**Ocena parametrów kinematycznych miednicy oraz kończyn
dolnych podczas lądowania jednonóż u pacjentów po zabiegu
rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego**

Autoreferat rozprawy
na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:

dr hab. Rafał Gnat prof. nadzw. AWF w Katowicach

Promotor pomocniczy:

dr Maciej Biały

KATOWICE 2023

Spis treści

Wykaz skrótów, interpretacja wartości zmiennych i słownik istotnych terminów.....	3
1. Wstęp	5
2. Struktura i cel badań.....	7
2.1. Elementy struktury badania.....	7
2.1.1. Model badawczy	7
2.1.2. Zmienna niezależna główna	7
2.1.3. Zmienne zależne	7
2.1.4. Pomiar wartości zmiennych zależnych	8
2.1.5. Zadania badawcze	8
2.2. Cel badań.....	8
2.2.1. Problem główny	9
2.2.2. Problemy szczegółowe	9
3. Materiał i metody badań	11
3.1. Materiał badany	11
3.2. Metoda badań	13
3.2.1. Lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek.....	13
3.2.2. Lądowanie jednonóż po zeskoku pionowym.....	15
3.3. Przetwarzanie danych	17
3.4. Przebieg badań	19
3.5. Wiarygodność pomiarów	20
3.6. Analiza statystyczna	20
4. Wyniki	22
4.1. Lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek.....	22
4.1.1. Wiarygodność pomiarów.....	22
4.1.2. Statystyki opisowe i analiza testowa.....	23
4.1.3. Porównania post-hoc	26
4.1.4. Wzorce kinematyczne	32
4.2. Lądowanie jednonóż po zeskoku pionowym	35
4.2.1. Wiarygodność pomiarów.....	35

4.2.2. Statystyki opisowe i analiza testowa.....	35
4.2.3. Porównania post-hoc	39
4.2.4. Wzorce kinematyczne	43
5. Wnioski.....	46
5.1.1. Wniosek główny	46
5.1.2. Wnioski szczegółowe.....	46
6. Bibliografia	48
7. Aneks 1	53

Wykaz skrótów, interpretacja wartości zmiennych i słownik istotnych terminów

Wykaz skrótów

WKP – więzadło krzyżowe przednie

SDD – najmniejsza wykrywalna różnica

S – płaszczyzna strzałkowa

C – płaszczyzna czołowa

P – płaszczyzna poprzeczna

Interpretacja wartości zmiennych zależnych

Przemieszczenia kości miednicznych

płaszczyzna S:	„+” – przodopochylenie	„-” – tyłopochylenie
płaszczyzna C:	„+” – pochylenie dośrodkowe	„-” – pochylenie doboczne
płaszczyzna P:	„+” – rotacja wewnętrzna	„-” – rotacja zewnętrzna

Przemieszczenia stawu biodrowego

płaszczyzna S:	„+” – zgięcie	„-” – wyprost
płaszczyzna C:	„+” – przywiedzenie	„-” – odwiedzenie
płaszczyzna P:	„+” – rotacja wewnętrzna	„-” – rotacja zewnętrzna

Przemieszczenia stawu kolanowego

płaszczyzna S:	„+” – zgięcie	„-” – wyprost
płaszczyzna C:	„+” – szpotawość	„-” – koślawość
płaszczyzna P:	„+” – rotacja wewnętrzna	„-” – rotacja zewnętrzna

Przemieszczenia stawu skokowego

płaszczyzna S:	„+” – zgięcie grzbietowe	„-” – zgięcie podeszwowe
płaszczyzna P:	„+” – pronacja	„-” – supinacja

Słownik istotnych terminów

przeciętny zakres przemieszczeń – zakres średniej wartości przemieszczeń występujących w fazie lądowania (100ms od momentu kontaktu stopy z podłożem)

szczytowy zakres przemieszczeń – zakres szczytowej wartości przemieszczeń występujących w fazie lądowania (100ms od momentu kontaktu stopy z podłożem)

empiryczny wzorzec kinematyczny – obejmujący wszystkie stawy kończyny dolnej wzorzec ruchomości zarejestrowany w trakcie badań

teoretyczny wzorzec kinematyczny – obejmujący wszystkie stawy kończyny dolnej wzorzec ruchomości oparty o dane z literatury:

- predysponujący do uszkodzenia WKP – teoretyczny wzorzec kierunków ruchu stwarzający zagrożenie uszkodzeniem WKP
- zabezpieczający przed uszkodzeniem WKP – teoretyczny wzorzec kierunków ruchu chroniący przed uszkodzeniem WKP (odwrotność wzorca predysponującego).

1. Wstęp

Uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego (WKP) występuje w szczególności u osób uprawiających dyscypliny sportu związane ze zmianą kierunku ruchu, hamowaniem, wyskokami i lądowaniem. Spośród wszystkich uszkodzeń WKP ponad połowa (60%) ma charakter bezkontaktowy [3, 9, 15, 19, 25, 30]. Literatura podaje również, że lądowanie jedno nogą jest wymieniane jako jeden ze wzorców ruchowych w trakcie którego często zachodzi takie uszkodzenie [4, 20, 29].

Przebyte uszkodzenie WKP często stawia pacjenta przed koniecznością podjęcia decyzji o poddaniu się zabiegowi rekonstrukcji więzadła, którego konsekwencją jest uczestnictwo w czasochłonnym i kosztownym procesie fizjoterapii, jednak zastosowane leczenie nie zawsze kończy się powodzeniem [3]. Pomimo powrotu pacjenta do aktywności fizycznej nadal wstępuje ryzyko uszkodzenia zarówno rekonstruowanego więzadła, jak również więzadła zdrowej kończyny. Częstość występowania uszkodzeń o takim charakterze wynosi 5-11% dla rekonstruowanego wcześniej WKP oraz 8-21% dla więzadła w kończynie przeciwnej [31, 35, 41].

Literatura naukowa podkreśla związek pomiędzy parametrami kinematycznymi kończyny dolnej a ryzykiem uszkodzenia WKP [18, 26–28, 33, 34]. Jednym z powszechnie przyjętych parametrów oceny kinematyki stawu kolanowego jest tzw. dynamiczny kąt koślawości. Według literatury wykazuje on związek z niemal połową bezkontaktowych uszkodzeń WKP. Wspomniany parametr bazuje na ocenie kąta w płaszczyźnie czołowej pomiędzy prostą łączącą kolec biodrowy przedni górny i środek rzepki oraz prostą łączącą środek rzepki i środek stawu skokowego górnego [16–18, 26–28, 33, 34]. Warto podkreślić, że dynamiczny kąt koślawości nie jest związany wyłącznie ze stawem kolanowym oraz płaszczyzną czołową. Literatura wskazuje na jego związek z innymi przemieszczeniami: przywiedzeniem i rotacją wewnętrzną w stawie biodrowym; przemieszczeniem podudzia w kierunku koślawości i rotacją zewnętrzną w stawie kolanowym, jak również pronacją w stawie skokowym [16, 17, 26, 33, 34].

Ponadto, Larwa i wsp. [22] w przeglądzie systematycznym literatury wykazali, że u osób, które uszkadzały WKP występowały następujące charakterystyki kinematyczne w obrębie kończyny dolnej: zwiększone zgięcie stawu biodrowego, zmniejszone zgięcie

stawu kolanowego, zwiększony dynamiczny kąt koślowości stawu kolanowego oraz zwiększone zgięcie grzbietowe stawu skokowego.

Na podstawie powyższych obserwacji zdefiniowany zostać może swoisty **wzorzec** parametrów kinematycznych **predysponujący do uszkodzenia WKP**. W jego skład należy włączyć następujące elementy: zwiększony zakres zgięcia, przywiedzenia i rotacji wewnętrznej w stawie biodrowym; zmniejszony zakres zgięcia w stawie kolanowym; zwiększony zakres przemieszczenia w kierunku koślowości i rotacji zewnętrznej w stawie kolanowym; zwiększony zakres zgięcia grzbietowego i pronacji w stawie skokowym.

Powszechnie stosowanymi narzędziami ewaluacji kinematyki kończyny dolnej są metody dwuwymiarowe (ang. *2-dimensional* – 2D) oraz trójwymiarowe (ang. *3-dimensional* – 3D). Podejście 2D jest tańsze, powszechnie dostępne, wykorzystuje łatwiejszą do obsługi aparaturę, jednak kluczowym jego ograniczeniem jest fakt, że stwarza możliwości oceny kinematyki jedynie w płaszczyźnie prostopadłej do kamery [17]. Wykorzystanie metody 3D pozwala na ocenę wszystkich płaszczyzn ruchu w wielu stawach [1, 2, 12, 13]. Mimo, iż jest bardziej kosztowną i mniej dostępną, metodę tę określa się w literaturze “złotym standardem” w ocenie kinematyki kończyny dolnej, m.in. ze względu na wysoką dokładność pomiarów oraz możliwość globalnej oceny ruchu [17, 24, 26].

By wyjaśnić zarysowany w niniejszym wstępie problem badawczy, w ramach badań stanowiących podstawę rozprawy za pomocą techniki 3D ocenie poddano kinematykę stawów obu kończyn dolnych oraz miednicy podczas lądowania jednonóż u pacjentów po jednostronnym zabiegu rekonstrukcji WKP. Ocena kinematyki kończyny dolnej, w której WKP zostało poddane rekonstrukcji oraz kończyny nieoperowanej, wraz z odniesieniem uzyskanych wyników do grupy osób zdrowych, może pozwolić na identyfikację czynników potencjalnie predysponujących do powstawania wtórnych uszkodzeń więzadła, co stanowić będzie przydatną informację dla personelu medycznego oraz samego pacjenta. Na jej podstawie w bardziej racjonalny sposób będzie można podejmować decyzje dotyczące bezpiecznego powrotu do aktywności sportowej oraz zredukować liczbę przypadków wtórnych uszkodzeń WKP. Niewykluczone, że wyniki przyczynią się także do zapobiegania pierwotnym uszkodzeniom WKP oraz odegrają rolę w procesie planowania fizjoterapii oraz treningu sportowego. Wszystkie z wymienionych powyżej faktów skłoniły autora do podjęcia przedstawionej w niniejszej rozprawie problematyki badawczej.

2. Struktura i cel badań

2.1. Elementy struktury badania

2.1.1. Model badawczy

Retrospektywne badanie kohorty ochotników po 12-18 miesięcy po zabiegu rekonstrukcji WKP (grupa badawcza) oraz zdrowych (grupa kontrolna) dobranych w sposób celowy.

2.1.2. Zmienna niezależna główna

Zabieg rekonstrukcji WKP: obecny/nieobecny. W kategorii „obecny” wyróżniono dwa „typy” kończyn dolnych (jednostek statystycznych): operowaną i nieoperowaną. W kategorii „nieobecny” wyróżniono jeden „typ”: kończyna zdrowa (wartości zmiennych zależnych uśredniono tutaj dla prawej i lewej kończyny dolnej, dalsze objaśnienia w Rozdziale 4). Finalnie uzyskano więc **trzy operacyjne kategorie zmiennej niezależnej** (określane dalej roboczo jako „typy” kończyn dolnych): **operowana, nieoperowana, zdrowa.**

2.1.3. Zmienne zależne

Parametry kinematyczne miednicy i kończyn dolnych, tj. zakresy przemieszczeń kości miednicznych, stawu biodrowego i kolanowego (w płaszczyznach: strzałkowej, czołowej, poprzecznej) oraz stawu skokowego (w płaszczyznach: strzałkowej i czołowej) w fazie lądowania po przeskoku przez płotek oraz zeskoku pionowym: (1) zakresy przeciętne (z okresu 100ms od momentu kontaktu stopy z podłożem); oraz (2) zakresy szczytowe (w okresie 100ms od momentu kontaktu stopy z podłożem).

Zarejestrowane w trakcie badań, kompleksowe konfiguracje parametrów kinematycznych miednicy i kończyny dolnej ujmowane są również w dalszej analizie jako tzw. **empiryczne wzorce kinematyczne.**

Ponadto, w analizie tej uwzględniony został zdefiniowany w literaturze swoisty konstrukt złożony z wybranych parametrów kinematycznych kończyn dolnych nazwany **wzorcem lądowania predysponującym do uszkodzenia WKP.** Obejmuje on następujące elementy:

- Staw biodrowy: nadmierny zakres przemieszczenia w kierunku zgięcia, przywiedzenia i rotacji wewnętrznej
- Staw kolanowy: ograniczony zakres przemieszczenia w kierunku zgięcia oraz nadmierny zakres przemieszczenia w kierunku koślawości i rotacji zewnętrznej
- Staw skokowy: nadmierny zakres przemieszczenia w kierunku zgięcia grzbietowego i pronacji [5, 6, 34, 42, 7, 16–18, 22, 26, 27, 33].

Można również uznać, że przeciwne kierunki przemieszczeń będą tworzyć opozycyjny do przedstawionego powyżej **worzec zabezpieczający przed uszkodzeniem WKP**.

2.1.4. Pomiary wartości zmiennych zależnych

Jednokrotny pomiar w 12-18 miesiącu po zabiegu rekonstrukcji WKP

2.1.5. Zadania badawcze

- Lądowanie po przeskoku przez płotek o wysokości 30cm
- Lądowanie po zeskoku pionowym z platformy o wysokości 40cm

2.2. Cel badań

Ogólnym celem przeprowadzonych badań jest ocena kinematyki miednicy oraz kończyny dolnej podczas dwóch technik lądowania jedno nogą (1) po przeskoku przez płotek; (2) po zeskoku pionowym oraz weryfikacja, czy pojawia się zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: operowaną, nieoperowaną (w grupie pacjentów w okresie 12-18 miesięcy od zabiegu rekonstrukcji WKP) oraz kończyną zdrową (w kontrolnej grupie osób zdrowych).

Formalnie przedstawione zostaną zatem następujące problemy badawcze odpowiadające im hipotezy:

2.2.1. *Problem główny*

1. Czy w okresie 12-18 miesięcy po zabiegu rekonstrukcji WKP podczas lądowania jednonóż pojawiają się odmienne wzorce ruchu kości miednicznych i stawów kończyny dolnej ujawniające się w postaci zróżnicowania parametrów kinematycznych miednicy oraz kończyny dolnej pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: **operowaną, nieoperowaną i zdrową?**

Hipoteza: Międzygrupowe zróżnicowanie parametrów kinematycznych miednicy oraz kończyny dolnej jest obecne.

2.2.2. *Problemy szczegółowe*

1. Czy ww. zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: operowaną, nieoperowaną i zdrową, występuje podczas lądowania jednonóż **po przeskoku przez płotek?**

Hipoteza: Międzygrupowe zróżnicowanie parametrów kinematycznych jest obecne po przeskoku przez płotek.

2. Czy ww. zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: operowaną, nieoperowaną i zdrową, występuje podczas lądowania jednonóż **po zeskoku pionowym?**

Hipoteza: Międzygrupowe zróżnicowanie parametrów kinematycznych jest obecne po zeskoku pionowym.

3. Czy ww. zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: operowaną, nieoperowaną i zdrową podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek i po zeskoku pionowym przejawia się **w wartościach przeciętnych** (z okresu 100ms po uzyskaniu kontaktu stopy z podłożem) tychże parametrów?

Hipoteza: Międzygrupowe zróżnicowanie parametrów kinematycznych przejawia się w obrębie ich wartości przeciętnych.

4. Czy ww. zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn: operowaną, nieoperowaną i zdrową podczas lądowania jednoźródła po przeskoku przez płotek i po zeskoku pionowym przejawia się w **wartościach szczytowych** (w okresie 100ms po uzyskaniu kontaktu stopy z podłożem) tychże parametrów?

Hipoteza: Międzygrupowe zróżnicowanie parametrów kinematycznych przejawia się w obrębie ich wartości szczytowych.

5. Empiryczny wzorzec ruchu którego z wyróżnionych typów kończyn: operowanych, nieoperowanych czy zdrowych, w największym stopniu pokrywa się ze zdefiniowanym w literaturze wzorcem predysponującym do uszkodzenia WKP?

Hipoteza: Wzorzec ruchu najbardziej odpowiadający wzorcowi predysponującemu pojawi się w obrębie kończyny nieoperowanej, na co wskazuje literatura tematu.

6. Czy do zdefiniowanego w literaturze wzorca predysponującego do uszkodzenia WKP można dołączyć dodatkowe parametry kinematyczne miednicy i kończyny dolnej?

Hipoteza: Będzie możliwe dołączenie do wzorca predysponującego nieobecnych w nim dotychczas parametrów kinematycznych, nieobejmowanych przez wcześniejsze badania.

3. Materiał i metody badań

Badania w niniejszym projekcie przeprowadzono w Laboratorium Analizy Ruchu Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach w okresie od grudnia 2019 do stycznia 2022. Uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach (nr 3/2017).

3.1. Materiał badany

Rekrutacja oraz weryfikacja kryteriów włączenia do badań, odbywała się drogą telefoniczną lub mailową. Dobór celowy pacjentów do grupy badawczej uwzględniał następujące kryteria włączenia:

- wiek pomiędzy 18-35 lat
- artroskopowa rekonstrukcja WKP z zastosowaniem przeszczepu z mięśnia półścięgnistego i smukłego w okresie 12-18 miesięcy przed badaniem
- brak współistniejących uszkodzeń tkanek w obrębie operowanego stawu (resekcja lub szycie łąkotec, uszkodzenie więzadeł pobocznych, troczków rzepki)
- brak historii dolegliwości bólowych oraz urazów w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego i kończyn dolnych w ciągu ostatnich 6 miesięcy przed badaniem, niezwiązanych z zabiegiem rekonstrukcji WKP
- brak historii zabiegów chirurgicznych w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego i stawów kończyny dolnej (z wyjątkiem operowanego WKP)
- brak dolegliwości bólowych w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego oraz kończyn dolnych w dniu oraz podczas badania
- możliwość swobodnej palpacji kolców biodrowych przednich górnych, kolców biodrowych tylnych górnych, nadkłykcia przyśrodkowego i bocznego kości udowej oraz kostki przyśrodkowej i bocznej podudzia
- brak lęku przed wykonaniem lądowania jedno nogą
- pisemna zgoda na udział w badaniach.

Zabieg rekonstrukcji WKP u pacjentów został przeprowadzony w jednej klinice chirurgii endoskopowej przez dwóch lekarzy ortopedów posiadających około 15 letnie doświadczenie związane z zabiegami operacyjnymi stawu kolanowego. Proces fizjoterapii

pooperacyjnej przeprowadzono z wykorzystaniem jednolitego protokołu usprawniania (protokół zamieszczono w Aneksie 1).

Dobór badanych do grupy kontrolnej odbywał się z uwzględnieniem następujących kryteriów:

- wiek pomiędzy 18-35 lat
- brak historii dolegliwości bólowych oraz urazu w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego i kończyn dolnych w ciągu 6 miesięcy przed badaniem
- brak historii zabiegów chirurgicznych w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego i stawów kończyny dolnej
- brak dolegliwości bólowych w obrębie kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego oraz kończyn dolnych w dniu oraz podczas badania
- możliwość swobodnej palpacji kolców biodrowych przednich górnych, kolców biodrowych tylnych górnych, nadkłykcia przyśrodkowego i bocznego kości udowej oraz kostki przyśrodkowej i bocznej podudzia
- brak lęku przed wykonaniem lądowania jedno nogą
- pisemna zgoda osoby badanej na udział w badaniach.

W trakcie wstępnej rekrutacji do badań zarejestrowano 79 osób (47 w grupie badawczej oraz 32 w grupie kontrolnej). Po dokonaniu weryfikacji kryteriów doboru, z badań wyłączono 43 osoby (29 z grupy badawczej oraz 14 z grupy kontrolnej). Ostatecznie przebadano 36 uczestników (18 w grupie badawczej oraz 18 w grupie kontrolnej). W Tabeli 1 przedstawiono statystyki opisowe dla podstawowych charakterystyk grupy badawczej i kontrolnej: wieku, masy ciała, wysokości ciała oraz wskaźnika BMI. Pod względem tych cech obydwie grupy nie wykazywały istotnego zróżnicowania i można je traktować jako homogeniczne (Tabela 1). Średni czas od wykonania zabiegu rekonstrukcji WKP w grupie badawczej wynosił 13 miesięcy.

Tabela 1. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) podstawowych charakterystyk grupy badawczej i kontrolnej. Zaprezentowano również poziom istotności testów jednorodności grup. M – mężczyźni; K – kobiety.

Parametr	Grupa badawcza (n=18)	Grupa kontrolna (n=18)	P badawcza vs kontrolna
Płeć [liczebność]	M =16 ; K =2	M =14 ; K =4	0,36*
Wiek [lata]	24,1 \pm 7,3 (18-35)	25,3 \pm 3,3 (23-31)	0,26†
Masa ciała [kg]	83,6 \pm 12,5 (61-100)	79,4 \pm 5,9 (71-88)	0,18†
Wysokość ciała [cm]	178,1 \pm 7,8 (164-186)	175,9 \pm 7,1 (165-184)	0,32†
BMI [kg/m ²]	26,3 \pm 3,6 (22,7-31,8)	25,8 \pm 2,4 (23,0-28,4)	0,94†

† - test t-Studenta dla prób niezależnych; * test Chi²

3.2. Metoda badań

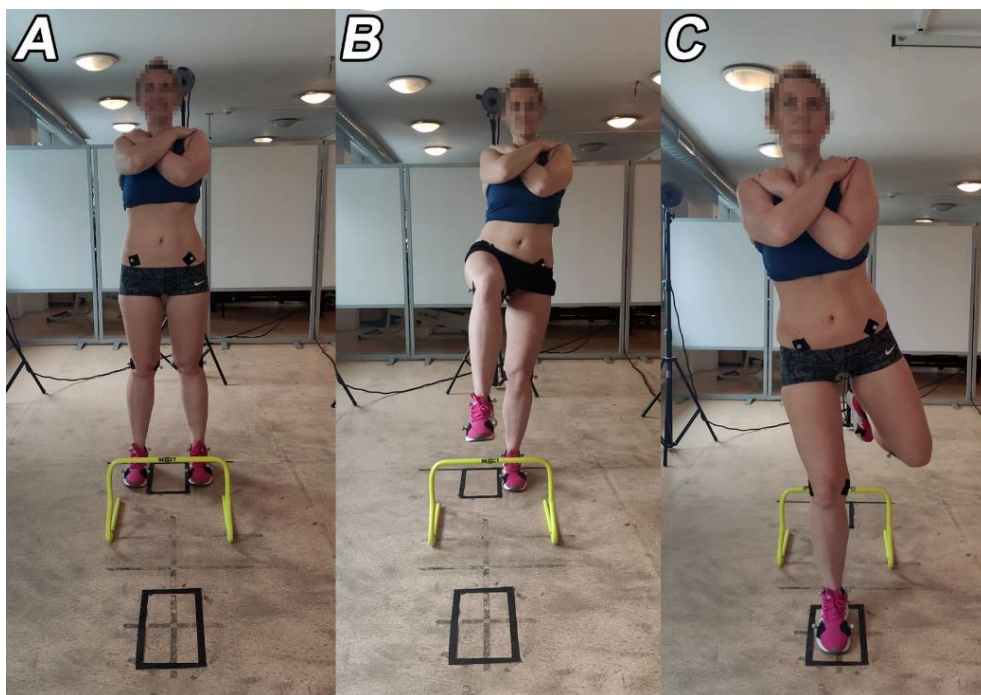
Na potrzeby badań wykorzystano trójwymiarowy, optoelektroniczny system do analizy ruchu BTS Smart (BTS Bioengineering, Mediolan, Włochy) składający się z 6 kamer rejestrujących położenie dedykowanych dla systemu markerów z częstotliwością 60Hz. Na ciele badanego umieszczono 18 kulistych markerów o średnicy 15mm na następujących punktach anatomicznych: kolcach biodrowych przednich górnych i tylnych górnych po prawej oraz lewej stronie ciała, nadkłykciu przysrodkowym i bocznym kości udowej obu kończyn, kostce bocznej i przysrodkowej podudzia obu kończyn, na obuwiu badanego w okolicy pierwszej i piątej głowy kości śródstopia oraz okolicy piąty obu kończyn (w celu określenia momentu kontaktu stopy z podłożem podczas lądowania) [14, 44].

W trakcie procedury osoby badane wykonywały dwa typy zadań eksperymentalnych: lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek oraz lądowanie jednonóż po zeskoku pionowym.

3.2.1. Lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek

Zadaniem badanego było wykonanie 5 lądowań jednonóż po przeskoku przez płotek. Osoba badana znajdowała się w pozycji stojącej w polu odbicia, na którym oznaczono dwie równoległe linie w celu uzyskania jednakowej odległości pomiędzy wewnętrznymi krawędziami stóp (20cm). Tylna krawędź stóp badanego znajdowała się na tylnej krawędzi pola odbicia. Osoba badana utrzymywała kończyny górne skrzyżowane na klatce piersiowej, dłonie na barkach. W takiej pozycji wyjściowej wykonywano statyczną rejestrację położenia markerów w celu określenia ustawienia neutralnego segmentów ciała (Rycina 1A). Następnie, badany wykonywał lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek unosząc

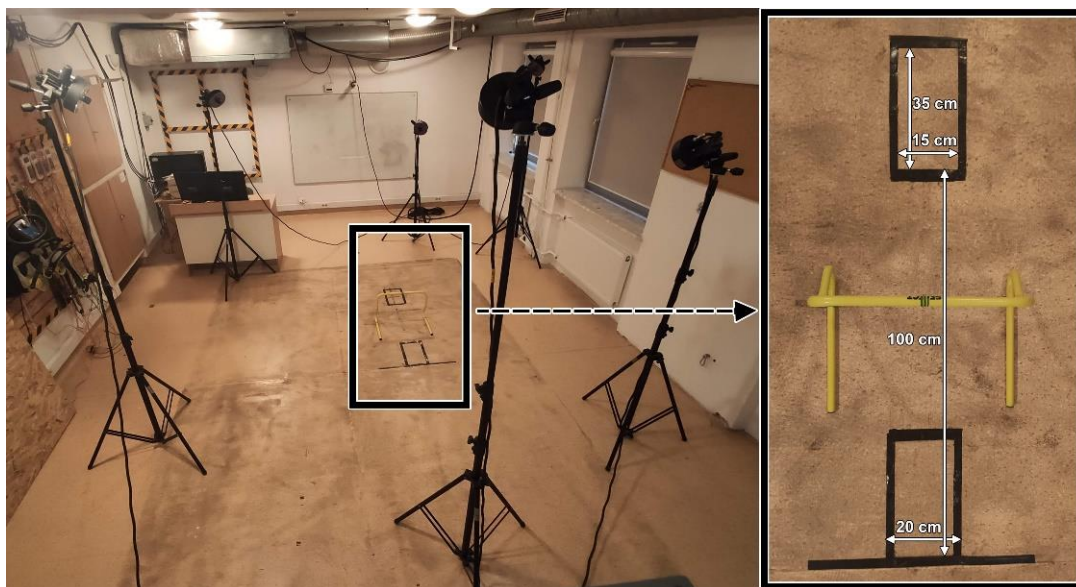
badaną kończynę dolną do przodu (Rycina 1B), odbijając się z kończyny niebadanej, przeskakując nad płotkiem, lądując na kończynie badanej w polu lądowania i utrzymując pozycję lądowania przez co najmniej 2 sekundy (Rycina 1C). Osoba badana nie otrzymywała żadnych instrukcji dotyczących techniki wykonania lądowania [30].



Rycina 1. Lądowanie jedno nogą po przeskoku przez płotek: (A) rejestracja statyczna w celu określenia ustawienia neutralnego segmentów ciała, (B) początek rejestracji dynamicznej - faza odbicia, (C) koniec rejestracji dynamicznej - faza lądowania.

Pole lądowania o wewnętrznych wymiarach $35\text{cm} \times 15\text{cm}$ zostało umiejscowione 100cm do przodu od pola odbicia. Płotek usytuowany został w połowie odległości pomiędzy przednią krawędzią pola odbicia, a tylną krawędzią pola lądowania, jego wysokość wynosiła 30cm (Rycina 2). Dla przykładu: by wykonać lądowanie jedno nogą po przeskoku przez płotek na prawą kończynę dolną, osoba badana unosiła prawą kończynę i odbijając się z lewej kończyny dolnej lądowała na kończynie prawej. Próbę powtarzano w przypadku, gdy osoba badana wykonała przejście nad płotkiem zamiast przeskoku, dotknęła płotka podczas przeskoku, nie utrzymała pozycji po lądowaniu przez co najmniej 2 sekundy, lub gdy podparła się lewą kończyną dolną. Po wykonaniu instruktażu, a przed wykonaniem

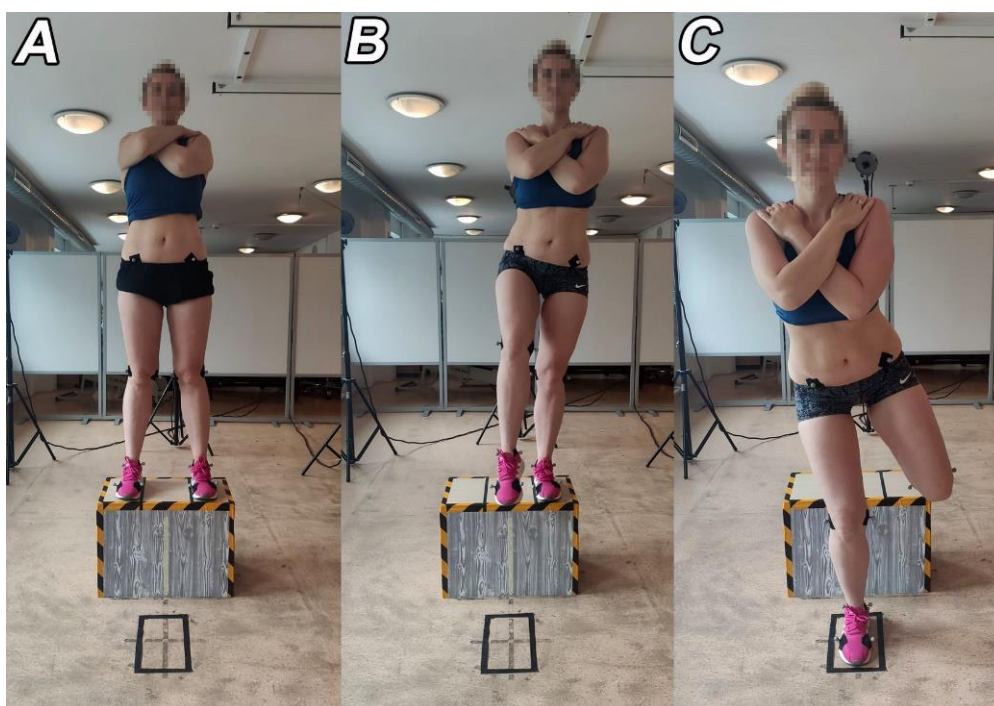
rejestracji, osoba badana wykonywała 3 próbne lądowania jedno-nóż po przeskoku przez płotek. Przerwa pomiędzy poszczególnymi przeskokami wynosiła 1 minutę.



Rycina 2. Ustawienie kamer oraz stanowiska do lądowania jedno-nóż po przeskoku przez płotek.

3.2.2. Lądowanie jedno-nóż po zeskoku pionowym

Zadaniem badanego było wykonanie 5 lądowań jedno-nóż po pionowym zeskoku z platformy. Osoba badana znajdowała się w pozycji stojącej na platformie o wysokości 40cm [8, 37] w polu odbicia, na którym oznaczono dwie równoległe linie w celu uzyskania jednakowej odległości pomiędzy wewnętrznymi krawędziami stóp (20cm). Przednia krawędź stóp badanego znajdowała się na przedniej krawędzi platformy. Osoba badana utrzymywała kończyny górne skrzyżowane na klatce piersiowej, dłonie na barkach. W takiej pozycji wyjściowej wykonywano statyczną rejestrację położenia markerów w celu określenia ustawienia neutralnego segmentów ciała (Rycina 3A). Następnie badany wykonywał lądowanie jedno-nóż po zeskoku pionowym unosząc badaną kończynę poza platformę do przodu (Rycina 3B), przesuwając tułów ku przodowi, zeskakując w dół, lądując na kończynie badanej w polu lądowania i utrzymując pozycję lądowania przez co najmniej 2 sekundy (Rycina 3C). Osoba badana nie otrzymywała żadnych instrukcji dotyczących techniki wykonania lądowania [30].



Rycina 3. Łądowanie jednonóż po zeskoku pionowym: (A) rejestracja statyczna w celu określenia neutralnego ustawienia segmentów ciała, (B) początek rejestracji dynamicznej - faza odbicia, (C) koniec rejestracji dynamicznej - faza łądowania.

Pole łądowania o wewnętrznych wymiarach 35cm × 15cm zostało umiejscowione 15cm do przodu od przedniej krawędzi platformy zeskoku (Rycina 4) [23]. Dla przykłądu: by wykonać łądowanie jednonóż po zeskoku pionowym na prawą kończynę dolną, osoba badana przemieszczała prawą kończynę dolną w przód poza platformę, stojąc na kończynie lewej. Dalej, wykonywała ona pionowy zeskok łądując na prawej kończynie dolnej. Próbę powtarzano, gdy osoba badana wykonała zejście z platformy zamiast zeskoku, nie była w stanie utrzymać pozycji łądowania przez co najmniej 2 sekundy, lub gdy podparła się kończyną lewą. Po wykonaniu instruktażu, a przed wykonaniem rejestracji, osoba badana wykonywała 3 próbne łądowania. Przerwa pomiędzy poszczególnymi zeskokami wynosiła 1 minutę.



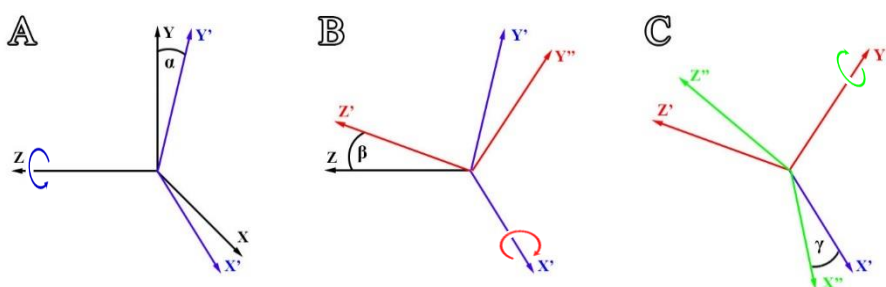
Rycina 4. Ustawienie kamer oraz stanowiska do lądowania jednonóż po zeskoku pionowym.

3.3. Przetwarzanie danych

Kalibrację systemu BTS Smart oraz rejestrację położenia markerów podczas wszystkich prób eksperymentalnych wykonano w programie Smart Capture. W programie Smart Tracker poszczególnym markerom przyporządkowano punkty anatomiczne, tworząc na ich podstawie komputerowy model miednicy i kończyny dolnej. W kolejnym kroku w programie Smart Analyzer na podstawie umieszczonych markerów stworzono lokalne układy współrzędnych dla poszczególnych segmentów ciała: kości miednicznych, ud, podudzi oraz stóp, złożone z trzech prostopadłych względem siebie osi (X, Y, Z) [43, 44].

Na podstawie przemieszczeń poszczególnych segmentów ciała względem siebie obliczono kąty Eulera z wykorzystaniem sekwencji Z-X-Y, przy założeniu że ruch względem osi Z reprezentuje przemieszczenia w płaszczyźnie strzałkowej (zgięcie/wyprost w stawie biodrowym i kolanowym oraz zgięcie grzbietowe/podeszwowe w stawie skokowym), ruch względem osi X – przemieszczenia w płaszczyźnie czołowej (przywiedzenie/odwiedzenie w stawie biodrowym, przemieszczenie w kierunku szpotawienia/koślawienia w stawie kolanowym oraz pronacja/supinacja w stawie skokowym), a ruch względem osi Y – przemieszczenia w płaszczyźnie poprzecznej (rotacja wewnętrzna/zewnętrzna w stawie biodrowym i kolanowym). Graficzny schemat obliczania kątów Eulera został przedstawiony na Rycinie 5 [32, 45]. Dodatkowo wartości kątów

(niezależnie czy przemieszczenia zachodziły w obrębie kończyny dolnej prawej czy lewej) odpowiadały kolejno: zgięciu, przywiedzeniu i rotacji wewnętrznej w stawie biodrowym, zgięciu, rotacji wewnętrznej i szpotawości w stawie kolanowym oraz zgięciu grzbietowym i pronacji w stawie skokowym [43].



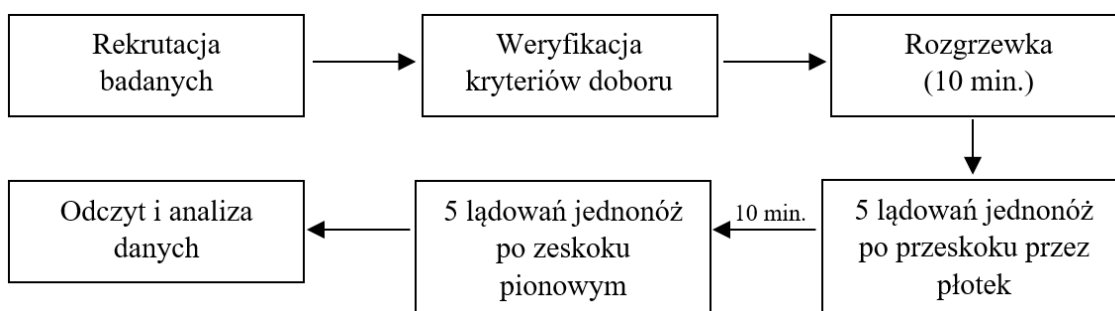
Rycina 5. Graficzny schemat rotacji układu współrzędnych z wykorzystaniem kątów Eulera w sekwencji Z-X-Y. (A) Obrót względem osi Z (płaszczyzna strzałkowa) o kąt α , (B) obrót względem osi X (płaszczyzna czołowa) w położeniu X' o kąt β , (C) obrót względem osi Y (płaszczyzna poprzeczna) w położeniu Y'' o kąt γ .

W celu oceny kinematyki miednicy, kąty Eulera obliczono bazując na przemieszczeniu lokalnego układu współrzędnych kości miednicznych względem laboratoryjnego układu współrzędnych [10, 11, 38, 40]. Dodatnia wartość obrotu względem osi Z (płaszczyzna strzałkowa) odpowiadała przodopochyleniu kości miednicznej (obniżenie kolców biodrowych przednich górnych, uniesienie kolców biodrowych tylnych górnych), natomiast ujemna wartość obrotu odpowiadała tyłopochyleniu kości miednicznej (uniesienie kolców biodrowych przednich górnych, obniżenie kolców biodrowych tylnych górnych). Dodatnia wartość obrotu względem osi X (płaszczyzna czołowa) odpowiadała pochyleniu dośrodkowemu kości miednicznej (pochylenie talerza kości biodrowej w kierunku dośrodkowym (do kręgosłupa)), z kolei ujemna wartość obrotu odpowiadała pochyleniu dobocznemu kości miednicznej (pochylenie talerza kości biodrowej w kierunku boczny (od kręgosłupa)). Dodatnia wartość obrotu względem osi Y związana była z rotacją wewnętrzną kości miednicznej w stronę badanej kończyny (dośrodkowe przemieszczenie kolca biodrowego przedniego górnego, boczne przemieszczenie kolca biodrowego tylnego górnego), natomiast ujemna wartość obrotu wiązała się rotacją zewnętrzną kości miednicznej badanej kończyny (boczne przemieszczenie kolca biodrowego przedniego górnego, dośrodkowe przemieszczenie kolca biodrowego tylnego górnego) [40].

Analizie poddano fazę lądowania, która trwała 100ms, jej początek został określony od momentu pierwszego kontaktu stopy z podłożem, wyznaczonego w oparciu o położenie markerów umiejscowionych na butcie osoby badanej. Taki czas fazy lądowania ustalono w oparciu o doniesienia literatury, iż zarówno uszkodzenie WKP, jak również szczytowa wartość sił reakcji podłoża podczas lądowania występują w okresie do 83ms od momentu kontaktu stopy z podłożem [20, 21, 23, 39].

3.4. Przebieg badań

W pierwszym etapie badań dokonano rekrutacji uczestników do grupy kontrolnej oraz badawczej na podstawie przyjętych kryteriów doboru. Osobom, które spełniały kryteria selekcji ustalano indywidualnie termin wykonania pomiarów. W kolejnym etapie przystępowano do realizacji procedur pomiarowych. Każdorazowo przed rozpoczęciem pomiarów zapewniano standardowe warunki badania. Zadbano o takie samo ustawienie kamer, zestawu do kalibracji systemu oraz stanowiska do odbicia i lądowania. Kalibrację statyczną systemu BTS Smart wykonywano przez czas 30s, dynamiczną przez czas 120s. Po umiejscowieniu markerów na ciele osoby badanej, wykonywała ona rozgrzewkę na cykloergometrze Kettler EX3 (Kettler, Ense, Niemcy) przez 10min (obciążenie 50W, 60 obrotów na minutę). Po rozgrzewce osoba badana wykonywała 5 lądowań jednonóż po przeskoku przez płotek, a następnie, po 10 minutowej przerwie, wykonywała 5 lądowań jednonóż po pionowym zeskoku. W dalszej kolejności badano przeciwną kończynę. Kolejność badania kończyn ustalano losowo poprzez rzut monetą. Przed wykonaniem lądowania każdorazowo dokonywano statycznej rejestracji położenia markerów w celu wyznaczenia neutralnego ustawienia stawów. Schemat struktury badania został przedstawiony na Rycinie 6.



Rycina 6. Struktura badania. Po dokonaniu rekrutacji badanych, weryfikowano kryteria włączenia do badań. Badania właściwe rozpoczęto od 10 minutowej rozgrzewki, następnie osoba badana wykonała 5 lądowań jednonóż po przeskoku przez płotek, dalej po 10 minutowej przerwie wykonała 5 lądowań jednonóż po zeskoku pionowym. Ostatnim etapem był odczyt oraz analiza danych.

3.5. Wiarygodność pomiarów

Przed przystąpieniem do badań właściwych, w ramach badania pilotażowego dokonano oceny wiarygodności pomiarów. Dziewiętnastu zdrowych ochotników (11 mężczyzn, 8 kobiet) zostało przebadanych w celu oceny wiarygodności pomiarów. Średni wiek badanych wynosił $23,1 \pm 2,8$ lat, średnia masa ciała wynosiła $70,7 \pm 9$ kg, średnia wysokość ciała wynosiła $174,8 \pm 6,7$ cm.

W celu określenia wiarygodności pomiarów wykorzystano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej w modelu 3 dla 5 powtarzanych pomiarów ($ICC_{3,5}$) z określeniem 95% przedziału ufności, standardowego błędu pomiaru (SEM), najmniejszej wykrywalnej różnicy (SDD) dla lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek oraz lądowania jednonóż po zeskoku pionowym [40]. Bazując na otrzymanych wartościach współczynnika ICC, przyporządkowano im poszczególne poziomy wiarygodności: $<0,5$ słaby, $0,5-0,75$ umiarkowany, $0,76-0,90$ dobry, $>0,90$ doskonały [36]. Wyniki oceny wiarygodności pomiarów dla lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek przedstawiono w podrozdziale 4.1.1, z kolei dla lądowania jednonóż po zeskoku pionowym w podrozdziale 4.2.1.

3.6. Analiza statystyczna

Dane uzyskane w programie Smart Analyzer wyeksportowano do programu Statistica 13,3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, Stany Zjednoczone) oraz PASW Statistics 18,0,0 (IBM Corporation, Armonk, Stany Zjednoczone), gdzie uśredniono pięć powtarzanych pomiarów przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów: biodrowego, kolanowego i skokowego. W celu przedstawienia statystyk

opisowych wykorzystano średnie arytmetyczne, odchylenie standardowe, wartości minimum i maksimum oraz (z uwagi na relatywnie częste odchylenia rozkładów empirycznych od normalnych) medianę, dolny i górny kwartyl.

Do oceny wiarygodności pomiarów zastosowano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej w modelu 3 (ang. *intraclass correlation coefficient* – $ICC_{3,k}$), gdzie k oznacza liczbę powtarzanych pomiarów. W ramach oceny wiarygodności w badaniu pilotażowym wykorzystano układ z 5 powtarzanimi (uśrednionymi) pomiarami w dwóch seriach ($ICC_{3,5}$). Obliczono również standardowy błąd pomiaru (ang. *standard error of measurement* – SEM), gdzie $SEM = \text{odchylenie standardowe} * \sqrt{1 - ICC}$ oraz najmniejszą wykrywalną różnicę (ang. *smallest detectable difference* – SDD), gdzie $SDD = 1,96 * SEM * \sqrt{2}$.

Spełnienie założeń pozwalających na wykorzystanie w analizie testów parametrycznych (analizy wariancji) weryfikowano testami Shapiro-Wilka (odchylenia rozkładu empirycznego od normalnego) oraz Levene'a (homogeniczność wariancji). W przypadku gdy założenia o normalności rozkładu i homogeniczności wariancji zostały spełnione, wykonywano jednowymiarową, jednoczynnikową analizę wariancji (gdzie wymiar stanowił przeciętny/szczytowy zakres aktualnie analizowanego parametru kinematycznego; a czynnik – porównywane typy kończyn: operowana, nieoperowana, zdrowa). W przypadku wykrycia istotnych różnic międzygrupowych analizę tę rozszerzano o test post-hoc Tukeya. Gdy założenia o normalności rozkładu i homogeniczności wariancji nie zostały spełnione, stosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa, a w przypadku występowania istotnych różnic międzygrupowych wykonywano test porównań wielokrotnych (w dalszej części rozprawy test ten nazywany będzie testem post-hoc). W celu oceny zróżnicowania przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń pomiędzy obiema kończynami zdrowymi w grupie kontrolnej, zastosowano nieparametryczny test U Manna-Whitneya (ze względu na istotne odchylenie parametrów od rozkładu normalnego). Wynik uznawano za istotny statystycznie gdy $P \leq 0,05$.

4. Wyniki

Na wstępie niniejszego rozdziału zostanie przedstawiona ocena poziomu wiarygodności badania pilotażowego, statystyki opisowe wraz z wynikami testów istotności różnic międzygrupowych dla przeciętnych oraz szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Dokładnie taki sam układ prezentacji wyników zastosowany zostanie następnie dla próby lądowania jednonóż po zeskoku pionowym.

Z powodu występowania braku zróżnicowania parametrów przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń pomiędzy dwoma kończynami zdrowymi w grupie kontrolnej, podjęto decyzję o uśrednieniu wyników obydwu z nich i przedstawienie jako jeden typ – kończyna zdrowa.

4.1. Lądowanie jednonóż po przeskoku przez płotek

4.1.1. Wiarygodność pomiarów

Przed przystąpieniem do badań właściwych w ramach pilotażu określono wiarygodność przeprowadzanych pomiarów w oparciu o uśrednione wartości pomiaru powtarzanego pięciokrotnie (ICC_{3,5}). W Tabeli 2 zaprezentowano wyniki oceny wiarygodności dla próby lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek.

Tabela 2. Ocena wiarygodności pięciu powtarzanych, uśrednionych pomiarów przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek w badaniu pilotażowym. Wykorzystano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC_{3,5}), wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna

Parametr	Przeciętne zakresy			Szczytowe zakresy		
	ICC (±95%CI)	SEM [°]	SDD [°]	ICC (±95%CI)	SEM [°]	SDD [°]
kość miedniczna (S)	0,90 (0,73-0,96)	1,21	3,35	0,98 (0,95-0,99)	1,23	3,40
kość miedniczna (C)	0,59 (-0,07-0,84)	8,89	24,65	0,89 (0,71-0,96)	0,71	1,96
kość miedniczna (P)	0,97 (0,93-0,99)	0,87	2,40	0,81 (0,50-0,93)	1,87	5,18
staw biodrowy (S)	0,97 (0,92-0,99)	1,24	3,45	0,97 (0,91-0,99)	1,62	4,49
staw biodrowy (C)	0,91 (0,76-0,96)	1,22	3,37	0,97 (0,91-0,99)	0,94	2,61
staw biodrowy (P)	0,96 (0,89-0,98)	1,44	3,99	0,86 (0,62-0,95)	1,95	5,40
staw kolanowy (S)	0,95 (0,87-0,98)	1,11	3,07	0,95 (0,87-0,98)	1,68	4,65
staw kolanowy (C)	1,00 (0,99-1,00)	0,00	0,00	0,99 (0,96-1,00)	0,77	2,13
staw kolanowy (P)	0,98 (0,95-0,99)	0,84	2,33	0,95 (0,88-0,98)	1,65	4,58
staw skokowy (S)	0,96 (0,90-0,98)	0,77	2,12	0,98 (0,93-0,99)	0,93	2,59
staw skokowy (C)	0,95 (0,88-0,98)	0,98	2,71	0,97 (0,92-0,99)	0,86	2,38

4.1.2. Statystyki opisowe i analiza testowa

Ze względu na występowanie istotnych odchyłeń rozkładów przeciętnych oraz szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej od rozkładu normalnego w poszczególnych typach kończyn oraz brak jednorodności wariancji podjęto decyzję o zastosowaniu nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa do analizy różnic międzygrupowych wszystkich parametrów.

Statystyki opisowe przeciętnych zakresów przemieszczeń uzyskanych podczas lądowania jedno nogę po przeskoku przez płótek oraz poziom istotności statystycznej (P) uzyskany w teście Kruskala-Wallisa zamieszczono w Tabeli 3, a dla zakresów szczytowych – w Tabeli 4.

Analiza wartości przeciętnych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej uwidacznia nieco odmienne trendy w obrębie poszczególnych, porównywanych grup (trendy te dobrze obrazują kolory zastosowane w Tabeli 3). I tak, w przypadku kończyny operowanej zakresy rejestrowane w stawie skokowym (płaszczyzna strzałkowa: $-10,0^\circ$ (zgięcie podeszwowe); płaszczyzna czołowa: $-4,9^\circ$ (supinacja)) cechowały się większymi wartościami niż te, rejestrowane dla pozostałych typów kończyn. Pozostałe elementy łańcucha biokinematycznego operowanej kończyny dolnej, w porównaniu z ich odpowiednikami w innych typach kończyn, cechowały się raczej mniejszym zakresem przemieszczeń (np. kości miedniczne w płaszczyźnie poprzecznej: $-13,9^\circ$ (rotacja zewnętrzna), staw biodrowy w płaszczyźnie strzałkowej: $35,0^\circ$ (zgięcie), staw kolanowy w płaszczyźnie strzałkowej: $22,6^\circ$ (zgięcie), oraz czołowej: $-1,8^\circ$ (koślawość)). Można zatem twierdzić, iż w największym zakresie podczas lądowania przemieszczał się dalszy staw operowanej kończyny, a w najmniejszym stopniu środkowy. Podobny wzorzec przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej zaobserwowano analizując ich wartości szczytowe.

Kończyna nieoperowana charakteryzowała się większym zakresem przeciętnych przemieszczeń w bliższej części łańcucha biokinematycznego, niż w pozostałych typach kończyn. Należały do nich przemieszczenia kości miednicznych we wszystkich płaszczyznach odniesienia (płaszczyzna strzałkowa: $4,4^\circ$ (przodopochylenie); płaszczyzna czołowa $-5,7^\circ$ (pochylenie dobowe); płaszczyzna poprzeczna: $-15,6^\circ$ (rotacja zewnętrzna)) oraz przemieszczenia stawu biodrowego w płaszczyźnie strzałkowej: $40,2^\circ$ (zgięcie)

i czołowej: $-9,3^\circ$ (odwodzenie). Do tego dołączył również staw kolanowy w płaszczyźnie czołowej z największym przemieszczeniem w kierunku koślawości ($-2,9^\circ$). Identyczny wzorec ruchu kończyny nieoperowanej zaobserwowano analizując wartości szczytowe przemieszczeń.

Tabela 3. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) oraz mediany (dolny kwartylny kwartylny) przeciętnych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednoź po przeskoku przez płótek dla porównywanych typów kończyn dolnych. Wyniki podano w stopniach kątowych. Największe zakresy przemieszczeń w poszczególnych kończynach oznaczono kolorem różowym, najmniejsze niebieskim. Zaprezentowano również poziom istotności statystycznej (*P*). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

Parametr	Operowana (n=18)	Nieoperowana (n=18)	Zdrowa (n=18)	<i>P</i>
kość miedniczna (S)	$1,7 \pm 2,6$ (-1,8-5,5)	$4,4 \pm 1,9$ (1,0-6,8)	$1,5 \pm 3,3$ (-3,7-4,1)	0,01*
	1,2 (-0,6-4,7)	4,6 (3,3-6,2)	3,2 (-3,5-3,7)	
kość miedniczna (C)	$-3,1 \pm 1,6$ (-5,2-0,0)	$-5,7 \pm 3,1$ (-11,2-(-1,6))	$-1,3 \pm 3,2$ (-6,3-3,6)	0,00*
	-3,4 (-4,2-(-2,2))	-6,0 (-7,7-(-3,4))	-1,9 (-3,3-1,8)	
kość miedniczna (P)	$-13,9 \pm 3,1$ (-20,0-(-10,4))	$-15,6 \pm 3,3$ (-21,0-(-11,0))	$-14,0 \pm 3,1$ (-17,5-(-9,7))	0,18*
	-14,1 (-14,7-(-10,6))	-16,0 (-17,5-(-11,6))	-14,2 (-17,2-(-10,6))	
staw biodrowy (S)	$35,0 \pm 5,3$ (27,5-41,1)	$40,2 \pm 4,3$ (34,0-45,6)	$36,5 \pm 4,0$ (28,4-39,6)	0,04*
	37,2 (29,6-39,7)	42,2 (35,4-44,1)	38,9 (33,5-39,4)	
staw biodrowy (C)	$-4,7 \pm 4,6$ (-12,3-3,7)	$-9,3 \pm 3,5$ (-12,6-(-3,2))	$-2,3 \pm 4,7$ (-10,0-4,8)	0,00*
	-4,2 (-7,5-(-3,9))	-11,1 (-11,9-(-5,4))	-3,8 (-4,6-1,7)	
staw biodrowy (P)	$-9,3 \pm 5,3$ (-18,5-(-3,1))	$-7,7 \pm 4,2$ (-12,2-1,2)	$-10,0 \pm 10,8$ (-34,6-(-0,7))	0,74*
	-7,3 (-14,6-(-4,5))	-9,3 (-10,3-(-6,1))	-7,5 (-8,7-(-3,4))	
staw kolanowy (S)	$22,6 \pm 9,2$ (8,6-33,4)	$27,1 \pm 5,4$ (16,9-32,5)	$28,8 \pm 5,8$ (19,0-33,9)	0,13*
	23,9 (14,5-32,6)	26,9 (24,0-32,4)	30,8 (21,3-33,2)	
staw kolanowy (C)	$-1,8 \pm 3,5$ (-9,7-1,4)	$-2,9 \pm 1,6$ (-5,5-(-1,0))	$-2,9 \pm 1,8$ (-5,5-0,2)	0,02*
	-0,9 (-1,4-0,5)	-2,5 (-4,0-(-1,3))	-3,5 (-4,3-(-1,7))	
staw kolanowy (P)	$-2,6 \pm 3,7$ (-6,7-3,0)	$0,6 \pm 3,0$ (-3,1-5,2)	$-3,7 \pm 1,7$ (-7,2-(-2,2))	0,00*
	-2,1 (-6,6-1,2)	1,6 (-2,2-3,2)	-2,8 (-4,3-(-2,6))	
staw skokowy (S)	$-10,0 \pm 4,9$ (-19,7-(-5,8))	$-9,1 \pm 2,7$ (-13,3-(-4,8))	$-6,0 \pm 4,2$ (-13,4-(-1,7))	0,06*
	-6,7 (-13,5-(-6,7))	-9,1 (-11,8-(-6,9))	-4,6 (-9,8-(-2,1))	
staw skokowy (C)	$-4,9 \pm 1,7$ (-7,0-(-2,4))	$-2,9 \pm 2,0$ (-5,5-(-0,3))	$-1,8 \pm 2,4$ (-5,7-1,2)	0,00*
	-5,4 (-6,5-(-3,1))	-1,9 (-5,1-(-1,4))	-1,5 (-3,6-0,3)	

* test Kruskala Wallisa; † - jednoczynnikowa analiza wariancji; kolor czerwony – wynik istotny statystycznie

W przypadku kończyny zdrowej zarejestrowano jeszcze inną sytuację. Największe, w porównaniu z pozostałymi typami kończyn, przeciętne przemieszczenia rejestrowano bowiem w środkowej części łańcucha biokinematycznego. Należy tutaj wskazać na zgięcie stawu kolanowego (płaszczyzna strzałkowa, $28,8^\circ$), przemieszczenie w kierunku koślawości (płaszczyzna czołowa, $-2,9^\circ$) oraz rotację zewnętrzną (płaszczyzna poprzeczna, $-3,7^\circ$).

Do wymienionej grupy ruchów dołączyła również rotacja zewnętrzna stawu biodrowego (płaszczyzna poprzeczna, $-10,0^\circ$). Górne i dolne fragmenty łańcucha biokinematycznego ulegały w porównaniu z innymi typami kończyn raczej mniejszym przemieszczeniom. Analiza szczytowych wartości przemieszczeń w dużej mierze pokrywa się z powyższymi obserwacjami.

Tabela 4. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) oraz mediany (dolny kwartył-górny kwartył) szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jedno nogę po przeskoku przez płótek dla porównywanych typów kończyn dolnych. Wyniki podano w stopniach kątowych. Największe zakresy przemieszczeń w poszczególnych kończynach oznaczono kolorem różowym, najmniejsze niebieskim. Zaprezentowano również poziom istotności statystycznej (*P*). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

Parametr	Operowana (n=18)	Nieoperowana (n=18)	Zdrowa (n=18)	<i>P</i>
kość miedniczna (S)	2,2 \pm 3,3 (-2,4-6,9)	6,0 \pm 1,6 (3,5-8,4)	2,0 \pm 4,2 (-4,9-5,6)	0,00*
	1,9 (-0,8-5,8)	5,9 (4,9-7,2)	3,9 (-3,9-5,0)	
kość miedniczna (C)	-3,0 \pm 3,2 (-5,6-3,9)	-6,8 \pm 3,0 (-12,6-(-2,7))	-1,7 \pm 4,5 (-8,0-5,3)	0,00*
	-4,1 (-5,2-(-1,6))	-6,6 (-8,6-(-4,8))	-3,2 (-4,4-2,8)	
kość miedniczna (P)	-15,5 \pm 3,6 (-22,3-(-11,5))	-17,5 \pm 3,4 (-22,1-(-12,7))	-15,3 \pm 2,9 (-18,8-(-10,9))	0,10*
	-15,3 (-17,4-(-11,5))	-18,9 (-19,7-(-13,1))	-16,2 (-18,3-(-12,4))	
staw biodrowy (S)	40,1 \pm 6,5 (29,4-48,5)	46,8 \pm 4,4 (41,5-54,7)	41,9 \pm 4,8 (31,6-46,0)	0,01*
	42,8 (35,4-45,1)	46,3 (42,9-49,1)	44,3 (40,7-45,3)	
staw biodrowy (C)	-5,5 \pm 8,0 (-16,0-11,3)	-10,8 \pm 3,3 (-14,7-(-5,8))	-1,9 \pm 6,4 (-9,5-9,5)	0,00*
	-6,0 (-8,5-(-5,3))	-11,8 (-13,1-(-6,2))	-5,4 (-6,0-3,7)	
staw biodrowy (P)	-13,4 \pm 6,3 (-24,1-(-4,8))	-11,7 \pm 6,7 (-16,4-3,7)	-12,8 \pm 5,5 (-23,2-(-6,3))	0,85*
	-11,1 (-19,7-(-9,7))	-13,4 (-16,0-(-12,0))	-11,8 (-16,1-(-7,6))	
staw kolanowy (S)	34,3 \pm 12,3 (13,0-48,0)	40,5 \pm 5,7 (31,5-48,5)	40,7 \pm 7,0 (30,8-50,1)	0,32*
	39,1 (24,1-44,6)	39,0 (36,5-45,8)	42,1 (31,1-45,1)	
staw kolanowy (C)	-2,3 \pm 4,6 (-12,2-2,6)	-4,0 \pm 1,4 (-6,3-(-2,4))	-3,7 \pm 2,8 (-7,2-0,6)	0,06*
	-1,0 (-3,5-0,7)	-3,7 (-4,8-(-2,5))	-4,4 (-6,4-(-0,5))	
staw kolanowy (P)	-4,8 \pm 6,0 (-10,9-4,5)	0,4 \pm 4,9 (-5,8-7,5)	-6,0 \pm 2,6 (-9,4-(-2,4))	0,01*
	-4,2 (-10,6-1,7)	1,6 (-4,2-4,4)	-4,5 (-8,5-(-4,4))	
staw skokowy (S)	-18,4 \pm 3,7 (-25,8-(-15,3))	-17,4 \pm 3,7 (-21,7-(-10,4))	-12,7 \pm 4,6 (-18,6-(-6,5))	0,01*
	-17,4 (-21,1-(-15,6))	-18,9 (-20,6-(-14,9))	-12,9 (-17,6-(-8,5))	
staw skokowy (C)	-7,9 \pm 1,9 (-10,8-(-5,2))	-5,1 \pm 2,9 (-9,6-(-1,1))	-3,5 \pm 3,1 (-8,2-0,5)	0,00*
	-8,5 (-9,2-(-5,4))	-4,5 (-7,6-(-2,3))	-4,4 (-5,7-(-0,2))	

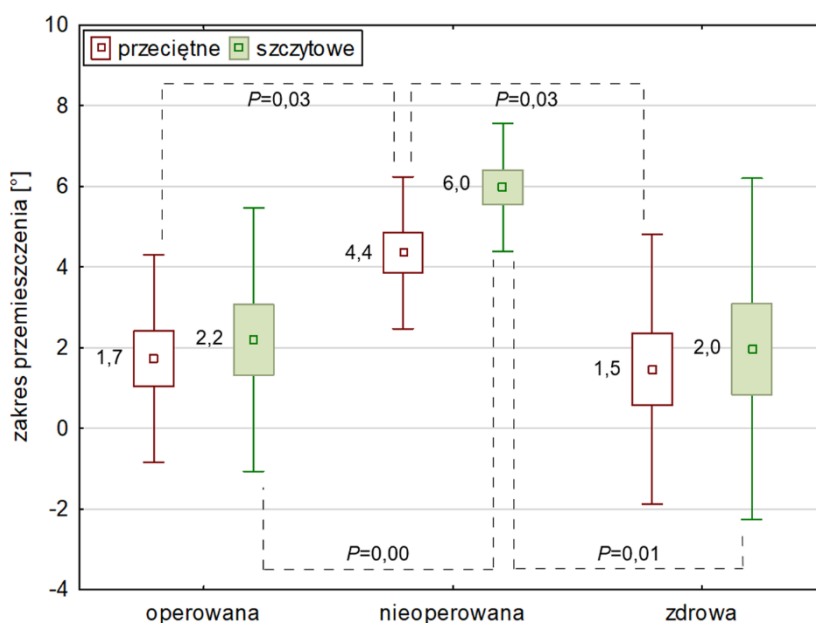
* test Kruskala Wallisa; † - jednoczynnikowa analiza wariancji; kolor czerwony – wynik istotny statystycznie

Należy zaznaczyć, iż wszystkie typy kończyn charakteryzowały się niemal jednakowym kierunkiem przemieszczeń. Przemieszczenie kości miednicznych zawsze odbywało się w stronę przodopochylenia, pochylenia dobowczego oraz rotacji zewnętrznej. W stawie

biodrowym dochodziło do zgięcia, odwodzenia i rotacji zewnętrznej, w stawie kolanowym – do zgięcia, koślawości, a w stawie skokowym – do zgięcia podszwowego i supinacji. Wyjątkiem był kierunek przemieszczenia stawu kolanowego w płaszczyźnie poprzecznej. W kończynie operowanej i zdrowej przemieszczenie zachodziło do rotacji zewnętrznej, z kolei w kończynie nieoperowanej – do rotacji wewnętrznej.

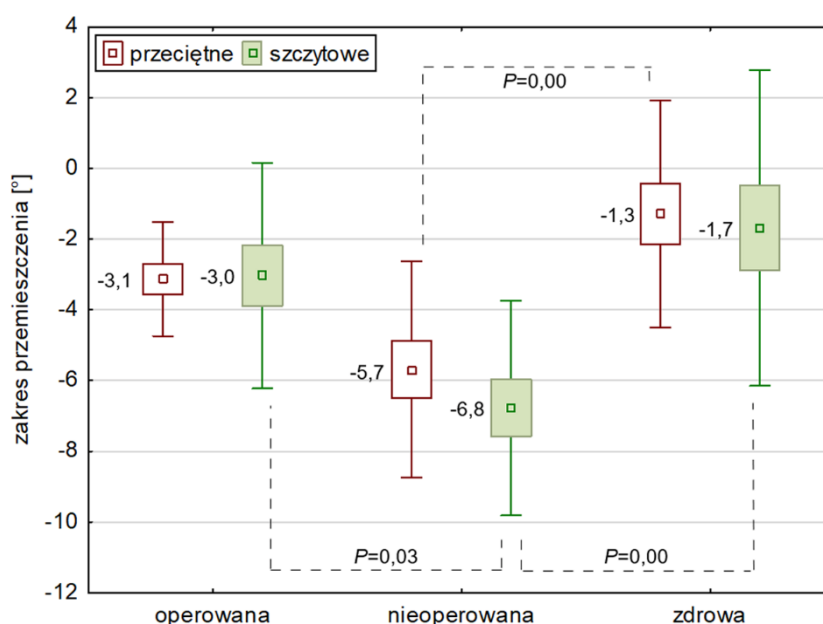
4.1.3. Porównania post-hoc

Wyniki testów statystycznych wykazały istotne zróżnicowanie międzygrupowe przeciętnych zakresów przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie strzałkowej ($P=0,01$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,03$) oraz kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,03$; Rycina 7). Istotne różnice międzygrupowe zaobserwowano również podczas analizy wartości szczytowych tychże zakresów ($P=0,00$; Tabela 4). Analiza post-hoc wykazała istotne różnice pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,00$) oraz kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,01$; Rycina 7).



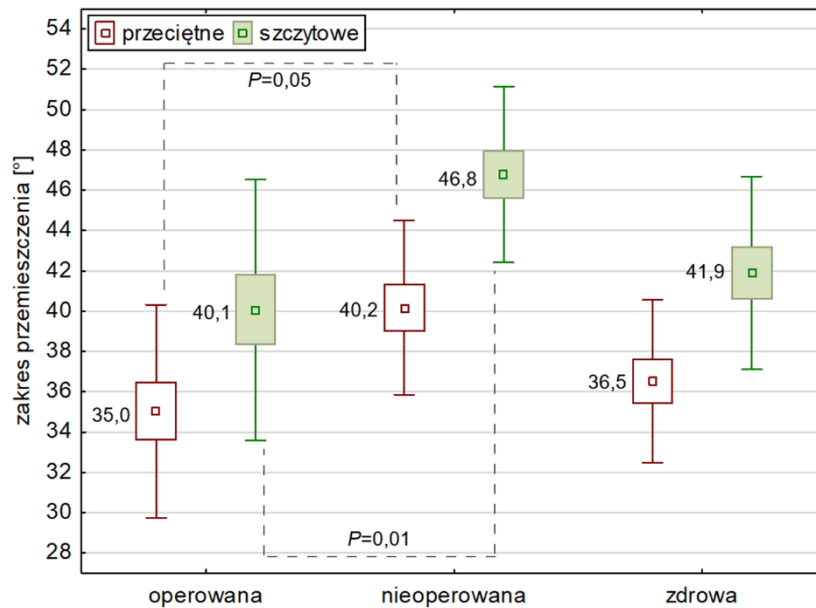
Rycina 7. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie strzałkowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

Kolejnym parametrem wykazującym istotne zróżnicowanie międzygrupowe były przeciętne zakresy przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała istotne różnice pomiędzy kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 8). Istotne zróżnicowanie międzygrupowe zaobserwowano również podczas analizy wartości szczytowych przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 4). Test post-hoc w tym przypadku wykazał istotne różnice pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,03$) oraz kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 8).



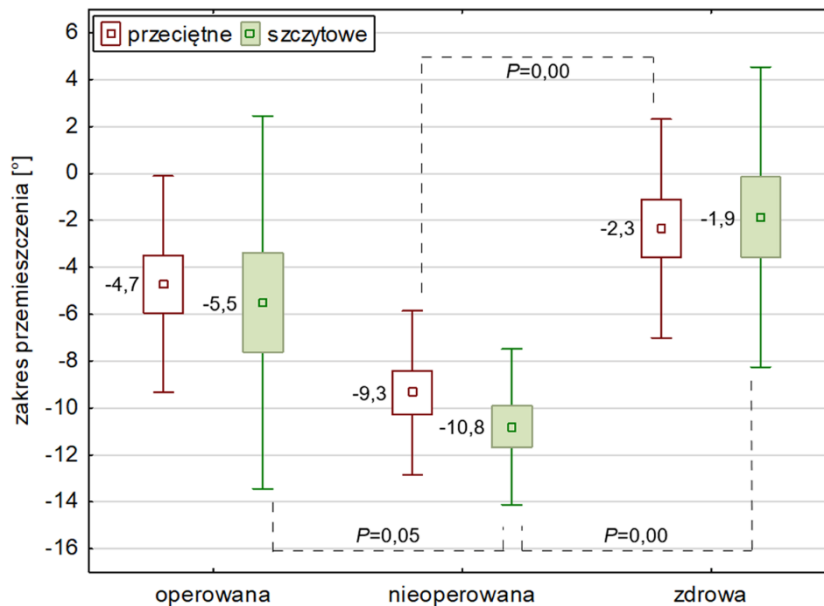
Rycina 8. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jedno nogę po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

W stawie biodrowym istotnym zróżnicowaniem międzygrupowym charakteryzowały się przeciętne zakresy przemieszczeń w płaszczyźnie strzałkowej ($P=0,04$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała różnice pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,05$; Rycina 9). Analiza szczytowych zakresów przemieszczeń stawu biodrowego w płaszczyźnie strzałkowej również uwidoczniła występowanie istotnego zróżnicowania pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn ($P=0,01$; Tabela 4). Testy post-hoc wykazały różnice pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,01$; Rycina 9).



Rycina 9. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu biodrowego w płaszczyźnie strzałkowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

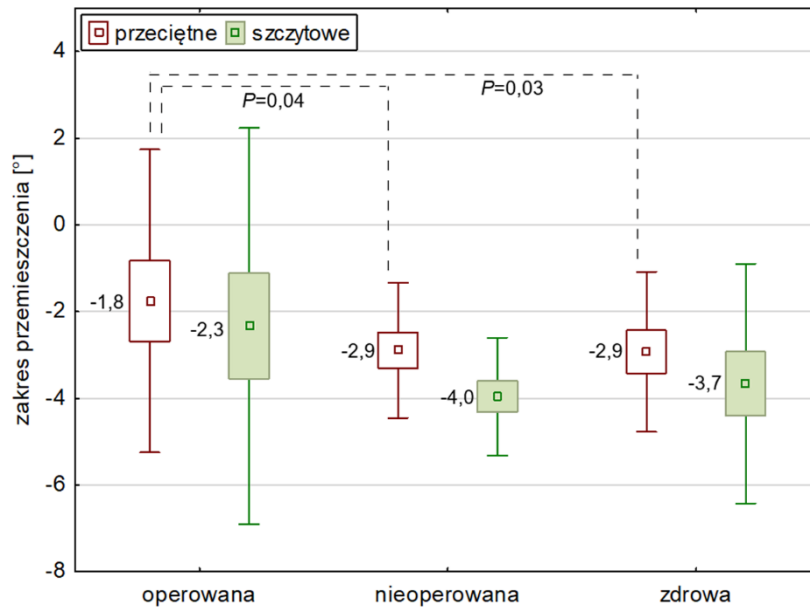
Kolejnym parametrem dotyczącym stawu biodrowego, w przypadku którego zaobserwowano występowanie istotnych różnic pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn dolnych były przeciętne zakresy przemieszczeń w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała zróżnicowanie pomiędzy kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 10). Istotne zróżnicowanie zaobserwowano również w analizie wartości szczytowych zakresów tychże przemieszczeń stawu biodrowego ($P=0,00$; Tabela 4). Test post-hoc wykazał występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,05$) oraz nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 10).



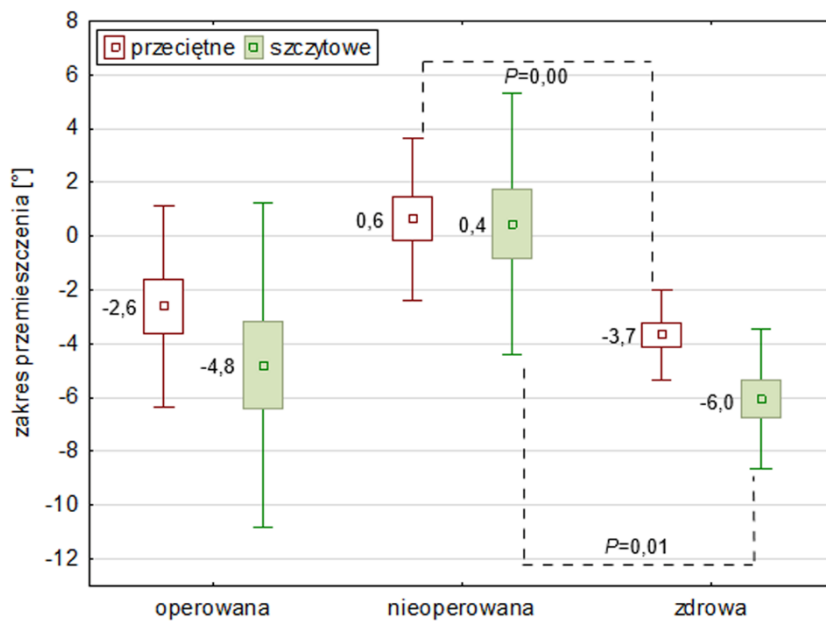
Rycina 10. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu biodrowego w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

W stawie kolanowym istotne zróżnicowanie przeciętnych zakresów przemieszczeń wystąpiło w płaszczyźnie czołowej ($P=0,02$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała różnice pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,04$) oraz operowaną i zdrową ($P=0,03$; Rycina 11).

Kolejnym parametrem stawu kolanowego wykazującym zróżnicowanie były przeciętne zakresy przemieszczenia w płaszczyźnie poprzecznej ($P=0,00$; Tabela 3). Test post-hoc wykazał występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 12). Analiza szczytowych zakresów przemieszczeń stawu kolanowego w tejże płaszczyźnie również wykazała występowanie istotnych różnic pomiędzy kończynami ($P=0,01$; Tabela 4). Różnica występowała pomiędzy kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,01$; Rycina 12).



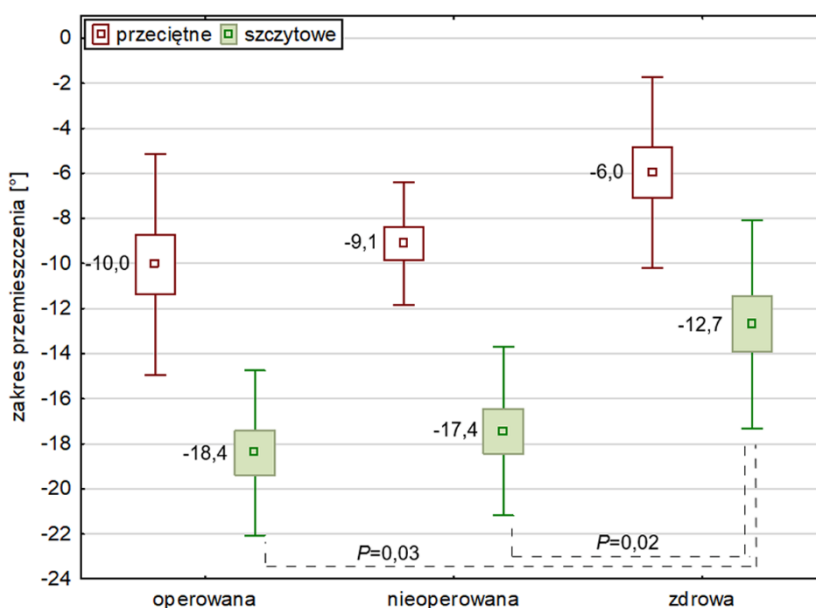
Rycina 11. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu kolanowego w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.



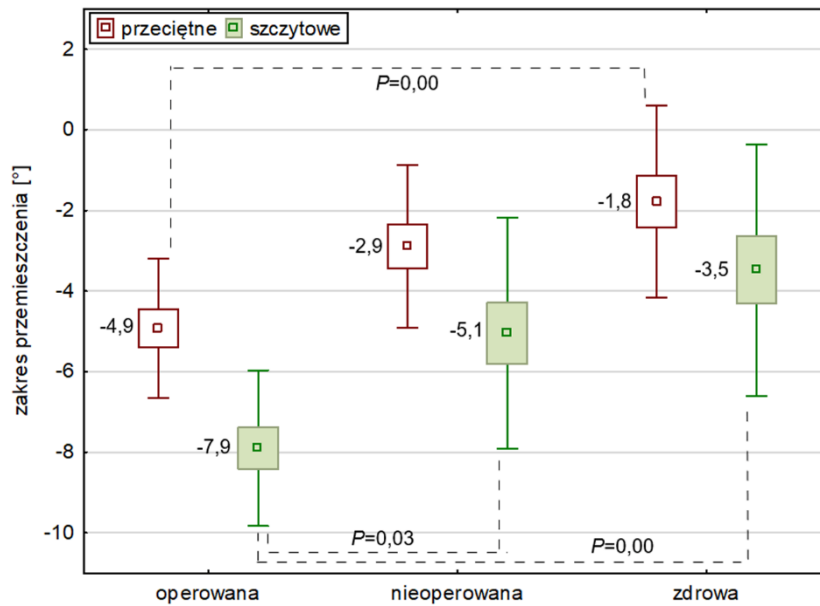
Rycina 12. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu kolanowego w płaszczyźnie poprzecznej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

W stawie skokowym istotne zróżnicowanie pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn dotyczyło szczytowych zakresów przemieszczeń w płaszczyźnie strzałkowej ($P=0,01$; Tabela 4). Analiza post-hoc uwidoczniała występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną operowaną i zdrową ($P=0,03$) oraz nieoperowaną i zdrową ($P=0,02$; Rycina 13).

Ostatnim z grupy parametrów wykazujących istotne zróżnicowanie były przeciętne przemieszczenia stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 3). Analiza post-hoc wykazała występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną operowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 14). Szczytowe zakresy przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej również charakteryzowały się zróżnicowaniem istotnym ($P=0,00$; Tabela 4). Różnice w teście post-hoc wykazano pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,03$) oraz kończyną operowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 14).



Rycina 13. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie strzałkowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.




Rycina 14. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

4.1.4. Wzorce kinematyczne

Na podstawie przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek przedstawiono schematyczne, empiryczne wzorce lądowania zbiorczo obrazujące zachowanie kinematyczne całej kończyny dolnej w poszczególnych płaszczyznach ruchu (Tabela 5). W tym celu uzyskanym zakresom przyporządkowano odpowiednie „stopnie” przyznając im odpowiednią liczbę symboli „+” zgodnie z następującym schematem:

- + – najmniejszy stopień przemieszczenia spośród wszystkich trzech typów kończyn;
- ++ – pośredni stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn;
- +++ – największy stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn.



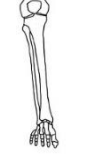
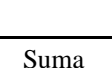
Tabela 5. Empiryczny wzorzec kinematyczny dla poszczególnych typów kończyn dolnych podczas lądowania po przeskoku przez płotek. Zarejestrowanym zakresom przyporządkowano odpowiednie „stopnie” przyznając im odpowiednią liczbę symboli „+” zgodnie z następującym schematem: + – najmniejszy stopień przemieszczenia spośród wszystkich trzech typów kończyn; ++ – pośredni stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn; +++ – największy stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn. Wiersz „suma” reprezentuje sumę symboli „+” dla danej płaszczyzny ruchu w poszczególnym typie kończyny. Strzałka wskazuje właściwy kierunek analizy tabeli. O – kończyna operowana; N – kończyna nieoperowana; Z – kończyna zdrowa; S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

	Przeciętne zakresy									Kończyna Płaszczyzna	Szczytowe zakresy											
	O			N			Z				S	C	P	O			N			Z		
	S	C	P	S	C	P	S	C	P					S	C	P	S	C	P	S	C	P
k. miedniczna	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+		+	+	+			+					+	+	+	+	+	+			
st. biodrowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		+	+	+	+		+		+					+	+	+	+	+			+	
st. kolanowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	
			+	+	+		+	+	+						+	+	+	+	+	+	+	
st. skokowy	+	+		+	+		+	+					+	+		+	+		+	+		
	+	+		+	+								+	+								
suma	7	8	5	10	11	5	7	6	8	Suma	7	8	7	10	11	5	7	5	6			

Na podstawie analizy sumy stopni przemieszczeń dla poszczególnych typów kończyn (Tabela 5, wiersz „suma”) można zaobserwować, że kończyna operowana spośród wszystkich typów kończyn w najmniejszym stopniu przemieszczała się w płaszczyźnie strzałkowej (suma stopni 7 dla zakresów przeciętnych i szczytowych). Kończyna nieoperowana wykazywała natomiast największą sumę stopni przemieszczeń w płaszczyźnie strzałkowej (suma stopni 10 dla zakresów przeciętnych i szczytowych) i czołowej (suma stopni 11 dla zakresów przeciętnych i szczytowych), zaś najmniejszą – w płaszczyźnie poprzecznej (suma stopni 5 dla zakresów przeciętnych i szczytowych). Kończyna zdrowa z kolei, przemieszczała się w najmniejszym stopniu w płaszczyźnie strzałkowej (suma stopni 7 dla zakresów przeciętnych i szczytowych) i czołowej (suma stopni 6 dla zakresów przeciętnych i 6 dla szczytowych).

W dalszej kolejności przeprowadzono zabieg polegający na nałożeniu na zarejestrowany wzorzec empiryczny elementów teoretycznych (opartych na danych z literatury, patrz Rozdział 1.4.3 i 2.1.3) wzorców predysponującego do uszkodzenia WKP i zabezpieczającego przed uszkodzeniem WKP (Tabela 6).

Tabela 6. Wzorce **predysponujący do uszkodzenia WKP** (kolor różowy) oraz **zabezpieczający przed uszkodzeniem WKP** (kolor niebieski) nałożone na **empiryczny wzorzec** kinematyczny dla poszczególnych typów kończyn dolnych podczas lądowania po przeskoku przez płotek. Wiersz „suma” reprezentuje sumę występowania czynników predysponujących (tj. sumę pól różowych) oraz zabezpieczających (tj. sumę pól niebieskich) w danej kolumnie. W tym przypadku nie sumowano stopni przemieszczeń. Strzałka wskazuje właściwy kierunek analizy tabeli. O – kończyna operowana; N – kończyna nieoperowana; Z – kończyna zdrowa; S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

	Przeciętne zakresy									Kończyna Płaszczyzna	Szczytowe zakresy								
	O			N			Z				O			N			Z		
	S	C	P	S	C	P	S	C	P		S	C	P	S	C	P	S	C	P
k. miedniczna	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
st. biodrowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
st. kolanowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
st. skokowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Suma	1	4	3	2	5	2					1	5	3	2	4	1			

kolor różowy – element wzorca predysponującego do uszkodzenia WKP
kolor niebieski – element wzorca zabezpieczającego przed uszkodzeniem WKP

Powyższe obserwacje sugerują, że kończyna operowana charakteryzowała się występowaniem najmniejszej liczby czynników predysponujących do uszkodzenia WKP (po 1 dla wartości przeciętnych i szczytowych) oraz największej liczby czynników zabezpieczających przed uszkodzeniem WKP (4 dla wartości przeciętnych i 5 dla wartości szczytowych) spośród wszystkich typów kończyn.

W kończynie zdrowej z kolei, występowało najwięcej czynników predysponujących do uszkodzenia WKP (5 dla zakresów przeciętnych i 4 dla zakresów szczytowych) oraz najmniej czynników zabezpieczających przed uszkodzeniem WKP (2 dla wartości przeciętnych i 1 dla wartości szczytowych) w odniesieniu do pozostałych typów kończyn.

4.2. Lądowanie jednonóż po zeskoku pionowym

4.2.1. Wiarygodność pomiarów

Wiarygodność pomiarów badania pilotażowego w trakcie lądowania jednonóż po zeskoku pionowym podobnie, jak w przypadku lądowania po przeskoku przez płótek oceniono w oparciu o uśrednione wartości pomiaru powtarzanego pięciokrotnie (ICC_{3,5}). Wyniki zaprezentowano w tabeli 7.

Tabela 7. Ocena wiarygodności pięciu powtarzanych, uśrednionych pomiarów przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym w badaniu pilotażowym. Wykorzystano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC_{3,5}), wraz z 95% przedziałem ufności (CI), standardowym błędem pomiaru (SEM) oraz najmniejszą wykrywalną różnicą (SDD). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna

Parametr	Przeciętne zakresy			Szczytowe zakresy		
	ICC ($\pm 95\%CI$)	SEM [°]	SDD [°]	ICC ($\pm 95\%CI$)	SEM [°]	SDD [°]
kość miedniczna (S)	0,93 (0,82-0,97)	0,77	2,14	0,99 (0,98-1,00)	0,79	2,20
kość miedniczna (C)	0,94 (0,84-0,98)	0,99	2,75	0,96 (0,89-0,99)	0,62	1,72
kość miedniczna (P)	0,97 (0,93-0,99)	0,63	1,76	0,90 (0,72-0,96)	1,10	3,06
staw biodrowy (S)	0,98 (0,94-0,99)	0,71	1,97	0,97 (0,93-0,99)	1,37	3,80
staw biodrowy (C)	0,94 (0,84-0,98)	1,01	2,79	0,98 (0,94-0,99)	0,82	2,27
staw biodrowy (P)	0,99 (0,98-1,00)	0,78	2,15	0,99 (0,99-1,00)	1,20	3,33
staw kolanowy (S)	0,90 (0,74-0,96)	1,43	3,97	0,90 (0,73-0,96)	1,63	4,53
staw kolanowy (C)	1,00 (0,99-1,00)	0,00	0,00	0,99 (0,98-1,00)	0,81	2,24
staw kolanowy (P)	0,98 (0,95-0,99)	0,92	2,54	0,88 (0,67-0,95)	2,62	7,26
staw skokowy (S)	0,93 (0,82-0,97)	0,77	2,14	0,91 (0,77-0,97)	0,88	2,45
staw skokowy (C)	0,94 (0,84-0,98)	0,99	2,75	0,98 (0,96-0,99)	1,03	2,86

4.2.2. Statystyki opisowe i analiza testowa

Cztery spośród wszystkich parametrów zakresów przemieszczenia spełniły założenia pozwalające na przeprowadzenie testu parametrycznego jednoczynnikowej analizy wariancji (przeciętny i szczytowy zakres przemieszczenia stawu kolanowego w płaszczyźnie strzałkowej, przeciętny zakres przemieszczenia stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej oraz szczytowy zakres przemieszczenia kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej). W celu analizy pozostałych różnic międzygrupowych wykorzystano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa.

W dalszej części zaprezentowano statystyki opisowe przeciętnych (Tabela 8) i szczytowych (Tabela 9) zakresów przemieszczeń uzyskanych podczas lądowania jednonóż

po zeskoku pionowym oraz poziom istotności statystycznej (P) uzyskany w teście statystycznym.

Analiza przeciętnych zakresów przemieszczeń miednicy i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym wykazała zróżnicowane wzorce przemieszczeń w zależności od typu kończyny. Można również stwierdzić, że wzorce w dużej mierze różniły się od tych, zaobserwowanych podczas lądowania jednonóż po przeskoku przez płotek.

Największym przeciętnym zakresem spośród wszystkich typów kończyn cechowały się przemieszczenia kości miednicznych kończyny operowanej w płaszczyźnie czołowej ($-15,4^\circ$ (pochylenie dobowe)) i poprzecznej ($-10,9^\circ$ (rotacja zewnętrzna)). Zakres przemieszczeń stawu kolanowego był w przypadku kończyny operowanej najmniejszy (płaszczyzna strzałkowa: $25,0^\circ$ (zgięcie), płaszczyzna czołowa: $-2,7^\circ$ (koślawość), płaszczyzna poprzeczna: $0,2^\circ$ (rotacja wewnętrzna)). Może to sugerować, iż łańcuch biokinematyczny kończyny operowanej przemieszczał się w większym zakresie w jego bliższym segmencie, a w mniejszym zakresie w części środkowej.

W kończynie nieoperowanej największe zakresy przeciętnego przemieszczenia, w porównaniu do pozostałych typów kończyn, zachodziły głównie w stawie biodrowym (również w bliższej części łańcucha biokinematycznego, choć nieco bardziej dystalnie, niż w poprzednim wypadku). Największy zakres przeciętnego przemieszczenia tego stawu występował w płaszczyźnie strzałkowej: $22,6^\circ$ (zgięcie) i czołowej $-13,7^\circ$ (odwiedzenie). Najmniejszy zakres przeciętnego przemieszczenia zanotowano z kolei w stawie biodrowym, w płaszczyźnie poprzecznej: $-5,6^\circ$ (rotacja zewnętrzna) oraz stawie skokowym w płaszczyźnie strzałkowej: $3,4^\circ$ (zgięcie grzbietowe).

Analiza przeciętnych zakresów przemieszczeń kończyny zdrowej, w porównaniu do pozostałych typów kończyn, wykazywała największe przeciętne zakresy przemieszczenia głównie środkowego segmentu łańcucha biokinematycznego – stawu kolanowego (płaszczyzna strzałkowa: $26,5^\circ$ (zgięcie), płaszczyzna czołowa: $-3,9^\circ$ (koślawość)). Największe zakresy przemieszczeń zaobserwowano również w ruchu kości miednicznych w płaszczyźnie strzałkowej: $-2,3^\circ$ (tyłopochylenie), stawu biodrowego w płaszczyźnie poprzecznej: $-6,8^\circ$ (rotacja zewnętrzna), stawu skokowego w płaszczyźnie strzałkowej: $3,6^\circ$ (zgięcie grzbietowe).

Tabela 8. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) oraz mediany (dolny kwartyl-górny kwartyl) przeciętnych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jedno nogą po zeskoku pionowym dla porównywanych typów kończyn dolnych. Wyniki podano w stopniach kątowych. Największe zakresy przemieszczeń w poszczególnych kończynach oznaczono kolorem różowym, najmniejsze niebieskim. Zaprezentowano również poziomy istotności statystycznej (*P*). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

Parametr	Operowana (n=18)	Nieoperowana (n=18)	Zdrowa (n=18)	<i>P</i>
kość miedniczna (S)	-1,6 \pm 5,9 (-10,1-8,5)	-1,7 \pm 2,9 (-4,0-3,2)	-2,3 \pm 3,4 (-9,5-1,1)	0,76*
	-1,3 (-7,6-2,2)	-3,1 (-3,9-1,8)	-2,2 (-3,1-0,2)	
kość miedniczna (C)	-15,4 \pm 3,5 (-21,7-(-10,3))	-15,1 \pm 3,6 (-20,7-(-9,6))	-11,5 \pm 1,3 (-13,8-(-9,8))	0,00*
	-15,3 (-17,1-(-12,2))	-15,9 (-17,2-(-11,6))	-11,4 (-12,8-(-10,4))	
kość miedniczna (P)	-10,9 \pm 6,1 (-20,1-(-2,6))	-9,5 \pm 4,3 (-13,8-(-3,8))	-9,1 \pm 3,1 (-14,3-(-5,0))	0,67*
	-11,7 (-16,7-(-5,0))	-12,0 (-13,1-(-4,0))	-8,7 (-10,9-(-5,9))	
staw biodrowy (S)	21,2 \pm 7,9 (11,3-31,8)	22,6 \pm 8,3 (13,3-39,0)	20,9 \pm 5,1 (10,2-26,6)	0,97*
	20,5 (12,9-28,7)	20,6 (15,9-27,5)	22,9 (18,9-23,6)	
staw biodrowy (C)	-13,0 \pm 5,5 (-24,5-(-8,3))	-13,7 \pm 5,3 (-20,4-(-4,5))	-8,2 \pm 2,3 (-10,7-(-4,2))	0,01*
	-9,9 (-16,2-(-9,2))	-14,3 (-19,4-(-9,2))	-8,3 (-10,6-(-5,9))	
staw biodrowy (P)	-6,6 \pm 5,8 (-15,9-1,4)	-5,6 \pm 5,2 (-13,2-1,8)	-6,8 \pm 9,4 (-26,4-3,4)	0,74*
	-6,5 (-11,1-(-2,1))	-6,8 (-9,1-(-0,1))	-5,5 (-9,8-(-0,3))	
staw kolanowy (S)	25,0 \pm 8,2 (13,4-36,8)	26,3 \pm 8,3 (15,1-40,5)	26,5 \pm 5,2 (18,1-34,0)	0,84†
	24,3 (16,2-32,1)	29,4 (17,8-29,6)	24,2 (23,8-31,3)	
staw kolanowy (C)	-2,7 \pm 3,5 (-10,4-0,8)	-3,3 \pm 1,7 (-6,3-(-1,5))	-3,9 \pm 2,0 (-5,9-(-0,2))	0,08*
	-1,6 (-3,7-(-0,5))	-2,8 (-5,0-(-1,6))	-4,5 (-5,8-(-1,9))	
staw kolanowy (P)	0,2 \pm 2,9 (-4,2-5,4)	2,6 \pm 2,5 (-0,5-7,9)	-1,7 \pm 1,8 (-5,0-(-0,3))	0,00*
	-0,5 (-1,0-2,7)	2,2 (1,7-2,6)	-0,8 (-3,7-(-0,3))	
staw skokowy (S)	3,4 \pm 1,9 (0,4-5,6)	3,4 \pm 1,1 (2,0-5,0)	3,6 \pm 3,3 (-1,1-7,4)	0,98*
	3,7 (1,4-5,4)	3,3 (2,0-4,6)	1,9 (1,6-7,4)	
staw skokowy (C)	-3,9 \pm 2,1 (-6,6-(-0,3))	-3,3 \pm 2,3 (-6,7-0,1)	-0,5 \pm 2,9 (-4,9-3,6)	0,00†
	-4,0 (-6,0-(-2,0))	-3,5 (-5,0-(-1,6))	0,3 (-3,9-1,4)	

* test Kruskala Wallisa; † - jednoczynnikowa analiza wariancji; kolor czerwony – wynik istotny statystycznie

Szczytowe zakresy przemieszczeń miednicy i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jedno nogą po zeskoku pionowym wykazały wiele podobieństw w odniesieniu do przeciętnych zakresów przemieszczeń. Największym zakresem szczytowego przemieszczenia w kończynie operowanej, w stosunku do kończyny nieoperowanej i zdrowej, charakteryzowały się głównie bliższe segmenty łańcucha biokinematycznego w płaszczyźnie czołowej i poprzecznej. Kości miedniczne przemieszczały się w największym zakresie w płaszczyźnie czołowej: -18,6° (pochylenie do boku) i poprzecznej: -12,1° (rotacja zewnętrzna); staw biodrowy w płaszczyźnie czołowej: -16,8° (odwiedzenie) oraz poprzecznej: -12,6° (rotacja zewnętrzna).

Największy szczytowy zakres przemieszczenia zaobserwowano również w płaszczyźnie czołowej stawu skokowego: $-6,4^{\circ}$ (supinacja).

Kończyna nieoperowana charakteryzowała się niemal odwrotnym wzorcem szczytowych zakresów w środkowym segmencie kończyny dolnej w porównaniu do kończyny operowanej. Największe bowiem wartości zakresów zarejestrowano we wszystkich trzech płaszczyznach stawu kolanowego (strzałkowej: $43,0^{\circ}$ (zgięcie), czołowej: $-4,9^{\circ}$ (koślawość), poprzecznej: $4,5^{\circ}$ (rotacja wewnętrzna)). Poza powyższą obserwacją, największe przemieszczenie zaobserwowano również w płaszczyźnie strzałkowej w sąsiednich segmentach stawu kolanowego – stawie biodrowym: $31,2^{\circ}$ (zgięcie) oraz stawie skokowym: $11,4^{\circ}$ (zgięcie grzbietowe).

Zakresy przemieszczeń kończyny zdrowej cechowały się największym szczytowym zakresem przemieszczenia tylko w jednym parametrze, było to przemieszczenie kości miednicznych w płaszczyźnie strzałkowej: $-2,6^{\circ}$ (tyłopochylenie). Pozostałe parametry wykazywały mniejsze szczytowe zakresy przemieszczenia, niż te które zaobserwowano w pozostałych typach kończyn.

Wszystkie typy kończyn charakteryzowały się niemal jednakowym kierunkiem przemieszczenia. Kości miedniczne zawsze przemieszczały się w kierunku do tyłopochylenia, pochylenia dobowego i rotacji zewnętrznej. Staw biodrowy przemieszczał się zawsze do zgięcia, odwiedzenia i rotacji zewnętrznej, staw kolanowy do zgięcia i koślawości, a staw skokowy do zgięcia grzbietowego i supinacji. Wyjątkiem był kierunek przemieszczenia stawu kolanowego w płaszczyźnie poprzecznej. W kończynie operowanej i nieoperowanej przemieszczenie odbywało się w kierunku do rotacji wewnętrznej, w kończynie zdrowej do rotacji zewnętrznej

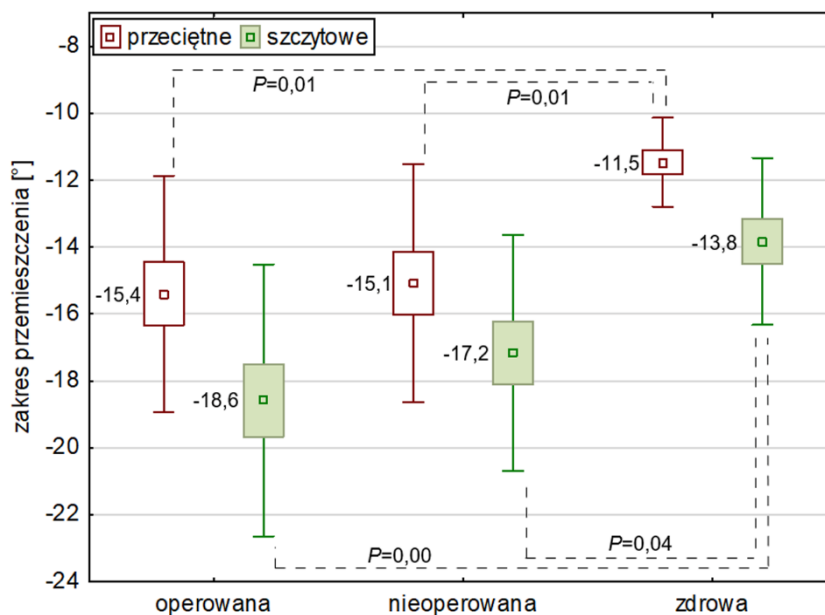
Tabela 9. Wartości średnie \pm odchylenia standardowe (minimum-maksimum) oraz mediany (dolny kwartyl-górny kwartyl) szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jedno nogę po zeskoku pionowym dla porównywanych typów kończyn dolnych. Wyniki podano w stopniach kątowych. Największe zakresy przemieszczeń w poszczególnych kończynach oznaczono kolorem różowym, najmniejsze niebieskim. Zaprezentowano również poziomy istotności statystycznej (P). S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

Parametr	Operowana (n=18)	Nieoperowana (n=18)	Zdrowa (n=18)	P
kość miedniczna (S)	$-2,2 \pm 7,1$ (-11,8-10,2)	$-2,3 \pm 4,6$ (-6,2-5,3)	$-2,6 \pm 3,9$ (-10,4-1,2)	0,95*
	-2,4 (-9,1-3,1)	-3,7 (-6,2-3,9)	-3,1 (-4,2-0,9)	
kość miedniczna (C)	$-18,6 \pm 4,1$ (-26,3-(-13,4))	$-17,2 \pm 3,5$ (-22,6-(-12,4))	$-13,8 \pm 2,5$ (-17,3-(-9,3))	0,00†
	-18,9 (-20,3-(-15,6))	-17,4 (-20,4-(-13,1))	-13,5 (-16,2-(-12,6))	
kość miedniczna (P)	$-12,1 \pm 6,0$ (-21,2-(-3,0))	$-11,5 \pm 4,2$ (-16,2-(-6,0))	$-10,5 \pm 3,0$ (-16,0-(-6,8))	0,65*
	-12,6 (-17,5-(-7,7))	-13,9 (-15,2-(-6,5))	-10,6 (-12,1-(-7,4))	
staw biodrowy (S)	$26,4 \pm 8,8$ (16,5-38,9)	$31,2 \pm 9,5$ (21,7-50,4)	$28,6 \pm 4,2$ (21,9-33,8)	0,41*
	24,7 (16,5-35,3)	26,6 (24,9-36,6)	28,5 (24,6-33,0)	
staw biodrowy (C)	$-16,8 \pm 5,9$ (-29,4-(-10,7))	$-16,5 \pm 4,8$ (-22,3-(-9,7))	$-10,6 \pm 3,8$ (-14,2-(-3,1))	0,00*
	-15,2 (-18,3-(-12,5))	-17,6 (-21,3-(-10,4))	-12,1 (-13,8-(-7,4))	
staw biodrowy (P)	$-12,6 \pm 7,1$ (-21,5-0,7)	$-12,5 \pm 8,4$ (-23,4-1,4)	$-8,7 \pm 10,9$ (-18,0-11,9)	0,83*
	-14,9 (-17,3-(-7,1))	-14,7 (-18,6-(-4,0))	-14,9 (-17,4-(-1,3))	
staw kolanowy (S)	$37,3 \pm 11,0$ (19,1-53,2)	$43,0 \pm 8,5$ (31,4-58,7)	$40,2 \pm 7,1$ (29,9-52,4)	0,25†
	37,5 (28,8-45,2)	44,7 (37,0-46,0)	38,5 (34,6-44,5)	
staw kolanowy (C)	$-3,4 \pm 4,2$ (-12,2-0,9)	$-4,9 \pm 1,3$ (-7,4-(-3,6))	$-4,8 \pm 2,6$ (-7,3-(-1,1))	0,10*
	-2,4 (-5,0-0,6)	-4,4 (-5,7-(-3,6))	-6,2 (-7,3-(-2,2))	
staw kolanowy (P)	$0,1 \pm 5,7$ (-8,6-10,6)	$4,5 \pm 3,5$ (-0,3-11,3)	$-3,8 \pm 4,2$ (-9,3-3,8)	0,00*
	-1,3 (-1,9-4,2)	4,1 (2,6-6,1)	-4,7 (-6,3-(-0,2))	
staw skokowy (S)	$9,3 \pm 4,7$ (2,1-14,0)	$11,4 \pm 2,4$ (7,0-13,6)	$6,6 \pm 8,3$ (-4,6-17,3)	0,43*
	10,7 (2,5-12,8)	12,2 (9,9-13,6)	5,3 (-3,4-15,1)	
staw skokowy (C)	$-6,4 \pm 2,5$ (-9,1-(-2,4))	$-5,5 \pm 3,9$ (-12,4-0,6)	$-0,8 \pm 4,1$ (-5,2-6,3)	0,00*
	-7,7 (-8,5-(-3,7))	-5,6 (-7,2-(-2,8))	-1,7 (-5,2-1,9)	

* test Kruskala Wallisa; † - jednoczynnikowa analiza wariancji; kolor czerwony – wynik istotny statystycznie

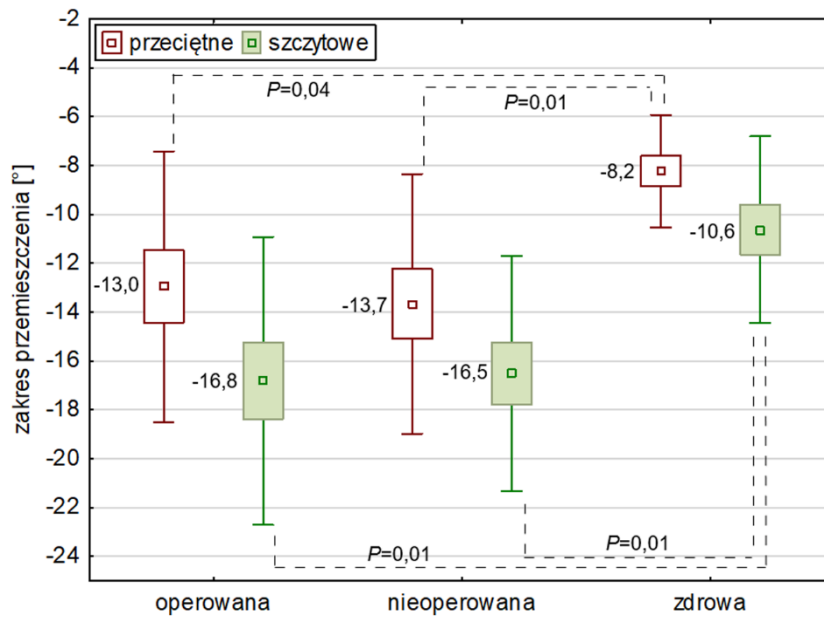
4.2.3. Porównania post-hoc

Analiza statystyczna wykazała występowanie zróżnicowania przeciętnych zakresów przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej pomiędzy poszczególnymi typami kończyn ($P=0,00$; Tabela 8). Różnice te dotyczyły kończyny operowanej i zdrowej ($P=0,01$) oraz nieoperowanej i zdrowej ($P=0,01$; Rycina 15). Szczytowe zakresy tychże przemieszczeń również charakteryzowały się istotnym zróżnicowaniem ($P=0,00$; Tabela 9). Test post-hoc uwidoczniał istotne różnice pomiędzy kończyną operowaną i zdrową ($P=0,00$) oraz nieoperowaną i zdrową ($P=0,04$; Rycina 15).



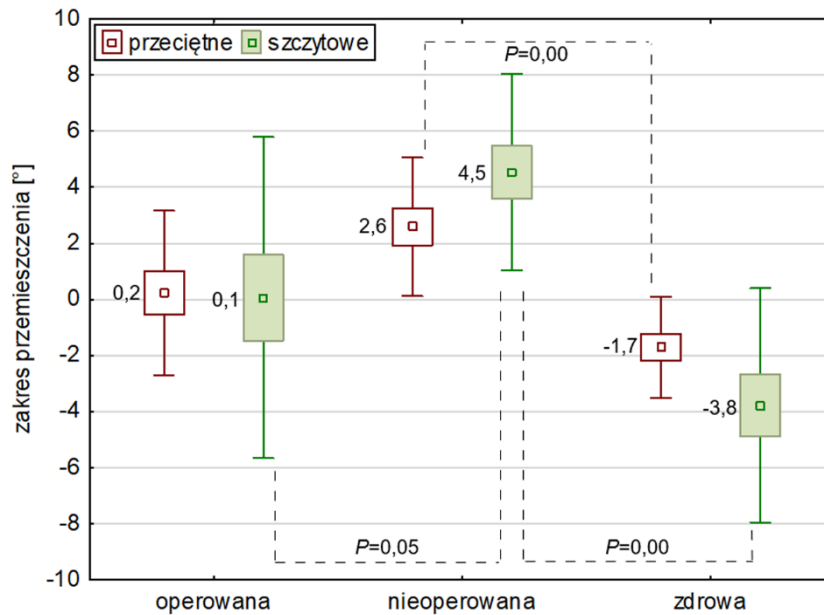
Rycina 15. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

W stawie biodrowym istotny wynik testu statystycznego odnotowano dla przeciętnych zakresów przemieszczeń w płaszczyźnie czołowej ($P=0,01$; Tabela 8). Analiza post-hoc wykazała występowanie istotnych różnic pomiędzy kończyną operowaną i zdrową ($P=0,04$) oraz nieoperowaną i zdrową ($P=0,01$; Rycina 16). Podobne obserwacje dotyczyły szczytowych zakresów przemieszczeń stawu biodrowego w płaszczyźnie czołowej. Zaobserwowano tutaj występowanie istotnego zróżnicowania międzygrupowego ($P=0,00$; Tabela 9), które dotyczyło kończyny operowanej i zdrowej ($P=0,01$) oraz nieoperowanej i zdrowej ($P=0,01$; Rycina 16).



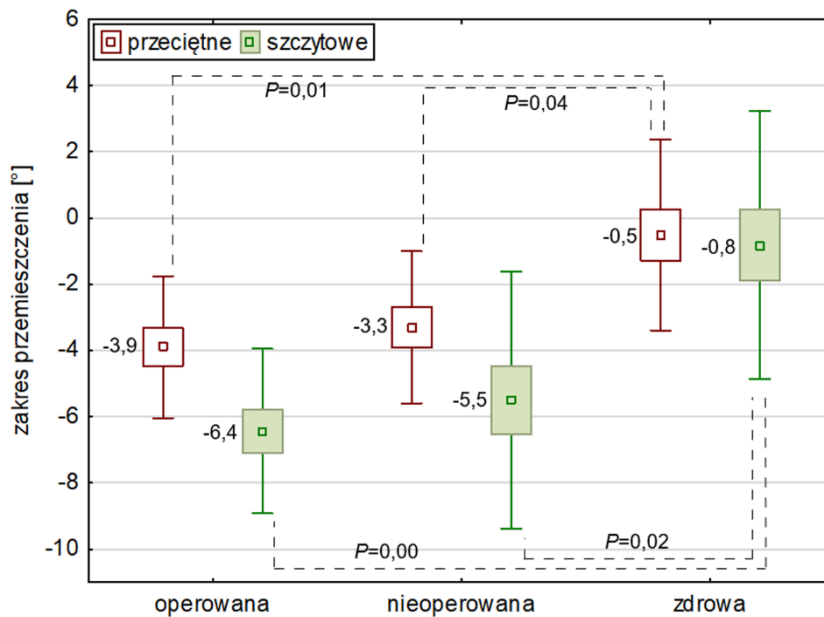
Rycina 16. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu biodrowego w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

W stawie kolanowym istotne zróżnicowanie międzygrupowe dotyczyło przeciętnych zakresów przemieszczeń w płaszczyźnie poprzecznej ($P=0,00$; Tabela 8). Test post-hoc wykazał różnice pomiędzy kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 17). Istotne różnice zaobserwowano również podczas analizy wartości szczytowych przemieszczeń stawu kolanowego w płaszczyźnie poprzecznej ($P=0,00$; Tabela 9). Analiza post-hoc wskazała na występowanie różnic pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną ($P=0,05$) oraz kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,00$; Rycina 17).



Rycina 17. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu kolanowego w płaszczyźnie poprzecznej podczas lądowania jedno nogę po zeskoku pionowym. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

Ostatnim parametrem wykazującym istotne zróżnicowanie pomiędzy kończynami były przeciętne zakresy przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 8). Analiza post-hoc wykazała istotne różnice pomiędzy kończyną operowaną i zdrową ($P=0,01$) oraz kończyną nieoperowaną i zdrową ($P=0,04$; Rycina 18). Istotne różnice zaobserwowano również w parametrach szczytowych przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej ($P=0,00$; Tabela 9). Test post-hoc wykazał zróżnicowanie kończyny operowanej i zdrowej ($P=0,00$) oraz nieoperowanej i zdrowej ($P=0,02$; Rycina 18).



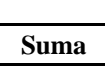


Rycina 18. Wartości średnie, błędy standardowe (pudełko) i odchylenia standardowe (wąsy) przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń stawu skokowego w płaszczyźnie czołowej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym. Zaprezentowano również istotne wartości testu post-hoc.

4.2.4. Wzorce kinematyczne

Na podstawie przeciętnych i szczytowych zakresów przemieszczeń kości miednicznych i stawów kończyny dolnej podczas lądowania jednonóż po zeskoku pionowym przedstawiono schematyczne, empiryczne wzorce lądowania zbiorczo obrazujące zachowanie kinematyczne całej kończyny dolnej w poszczególnych płaszczyznach ruchu (Tabela 10). W tym celu uzyskanym zakresom przyporządkowano odpowiednie „stopnie” przyznając im odpowiednią liczbę symboli „+” zgodnie z następującym schematem: + – najmniejszy stopień przemieszczenia spośród wszystkich trzech typów kończyn; ++ – pośredni stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn; +++ – największy stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn.

Tabela 10. Empiryczny wzorzec kinematyczny dla poszczególnych typów kończyn dolnych podczas lądowania jednoź po zeskoku pionowym. Zarejestrowanym zakresom przyporządkowano odpowiednie „stopnie” przyznając im odpowiednią liczbę symboli „+” zgodnie z następującym schematem: + – najmniejszy stopień przemieszczenia spośród wszystkich trzech typów kończyn; ++ – pośredni stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn; +++ – największy stopień przemieszczenia spośród wszystkich typów kończyn. Wiersz „suma” reprezentuje sumę symboli „+” dla danej płaszczyzny ruchu w poszczególnym typie kończyny. Strzałka wskazuje właściwy kierunek analizy tabeli. O – kończyna operowana; N – kończyna nieoperowana; Z – kończyna zdrowa; S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.





	Przeciętne zakresy									Kończyna Płaszczyzna	Szczytowe zakresy								
	O			N			Z				O			N			Z		
	S	C	P	S	C	P	S	C	P		S	C	P	S	C	P	S	C	P
k. miedniczna	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
		+	+		+	+		+	+			+	+		+	+		+	+
st. biodrowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
		+	+		+	+		+	+			+	+		+	+		+	+
st. kolanowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
		+	+		+	+		+	+			+	+		+	+		+	+
st. skokowy	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+		
		+		+		+		+			+		+		+		+		
Suma	5	9	6	8	9	6	10	6	6		5	10	7	11	9	7	8	5	4

Na podstawie analizy sumy stopni przemieszczeń dla poszczególnych typów kończyn (Tabela 10 wiersz „suma”) można zaobserwować, że kończyna operowana spośród wszystkich typów kończyn w najmniejszym stopniu poruszała się w płaszczyźnie strzałkowej (suma stopni 5 dla zakresów przeciętnych i szczytowych), zaś w największym stopniu w płaszczyźnie czołowej (suma stopni 9 dla zakresów przeciętnych i 10 dla zakresów szczytowych) i poprzecznej (suma stopni 7 dla zakresów szczytowych). Kończyna nieoperowana wykazywała natomiast największą sumę stopni przemieszczeń w płaszczyźnie czołowej (suma stopni 9 dla zakresów przeciętnych), strzałkowej (suma stopni 11 dla zakresów szczytowych) oraz poprzecznej (suma stopni 7 dla zakresów szczytowych). Kończyna zdrowa przemieszczała się w największym stopniu w płaszczyźnie strzałkowej (suma stopni 10 dla zakresów przeciętnych), a w najmniejszym stopniu w płaszczyźnie czołowej (suma stopni 6 dla zakresów przeciętnych i 5 dla wartości szczytowych) oraz poprzecznej (suma stopni 4 dla zakresów szczytowych).

W dalszej kolejności przeprowadzono zabieg polegający na nałożeniu na zarejestrowany wzorzec empiryczny elementów teoretycznych (opartych na danych

z literatury, patrz Rozdział 1.4.3 i 2.1.3) wzorców predysponującego do uszkodzenia WKP i zabezpieczającego przed uszkodzeniem WKP (Tabela 11).

Tabela 11. Wzorce **predysponujący do uszkodzenia WKP** (kolor różowy) oraz **zabezpieczający przed uszkodzeniem WKP** (kolor niebieski) nałożone na **empiryczny wzorzec** kinematyczny dla poszczególnych typów kończyn dolnych podczas lądowania jednoźródła po zeskoku pionowym. Wiersz „suma” reprezentuje sumę występowania czynników predysponujących (tj. sumę pól różowych) oraz zabezpieczających (tj. sumę pól niebieskich) w danej kolumnie. W tym przypadku nie sumowano stopni przemieszczeń. Strzałka wskazuje właściwy kierunek analizy tabeli. O – kończyna operowana; N – kończyna nieoperowana; Z – kończyna zdrowa; S – płaszczyzna strzałkowa; C – płaszczyzna czołowa; P – płaszczyzna poprzeczna.

	Przeciętne zakresy									Kończyna Płaszczyzna	Szczytowe zakresy									
	O			N			Z				S	O			N			Z		
	S	C	P	S	C	P	S	C	P			S	C	P	S	C	P	S	C	P
k. miedniczna	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
st. biodrowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
st. kolanowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
st. skokowy	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Suma	1	3	2	3	3	5	3	3	3		1	5	3	2	4	1				

kolor różowy – element wzorca predysponującego do uszkodzenia WKP
kolor niebieski – element wzorca zabezpieczającego przed uszkodzeniem WKP

Powyższe obserwacje sugerują, że kończyna operowana charakteryzowała się występowaniem najmniejszej liczby czynników predysponujących do uszkodzenia WKP (po 1 dla wartości przeciętnych i szczytowych) oraz największej liczby czynników zabezpieczających przed uszkodzeniem WKP (5 dla wartości szczytowych) spośród wszystkich typów kończyn.

W kończynie zdrowej występowało z kolei najwięcej czynników predysponujących do uszkodzenia WKP (5 dla zakresów przeciętnych i 4 dla zakresów szczytowych) oraz najmniej czynników zabezpieczających przed uszkodzeniem WKP (1 dla wartości szczytowych) w odniesieniu do pozostałych typów kończyn.

5. Wnioski

5.1.1. Wniosek główny

1. W okresie 12-18 miesięcy po zabiegu rekonstrukcji WKP podczas lądowania jednoonóż pojawiają się odmienne wzorce ruchu kości miednicznych i stawów kończyny dolnej. Ujawniają się one w postaci charakterystycznych konfiguracji wartości parametrów kinematycznych, odmiennych dla kończyn: **operowanej, nieoperowanej i zdrowej**.

5.1.2. Wnioski szczegółowe

1. W przypadku **przeskoku przez płotek** charakterystyczny, empiryczny wzorzec kinematyczny pojawia się szczególnie wyraźnie. We wzorcu tym kończyna operowana w największym stopniu porusza się w stawie skokowym, kończyna nieoperowana – w obrębie miednicy i w stawie biodrowym, a kończyna zdrowa – w stawie kolanowym. Obserwacje te wspierają dowody statystyczne – zróżnicowanie pomiędzy typami kończyn rejestrowano w przypadku 14 z 33 porównań międzygrupowych.

2. W przypadku **zeskoku pionowego** charakterystyczny wzorzec kinematyczny również występuje, jednak jest mniej wyrazisty. We wzorcu tym kończyna operowana w największym stopniu porusza się w stawie skokowym i miednicy, kończyna nieoperowana – w obrębie stawu biodrowego, kończyna zdrowa – w stawie kolanowym. Obserwacje te wspierają dowody statystyczne – zróżnicowanie pomiędzy typami kończyn rejestrowano w przypadku 9 z 33 porównań międzygrupowych.

3. Zróżnicowanie parametrów kinematycznych pomiędzy wyróżnionymi typami kończyn podczas lądowania jednoonóż po przeskoku przez płotek i po zeskoku pionowym przejawia się zarówno w **wartościach przeciętnych**, jak i w **wartościach szczytowych** tychże parametrów.

5. Ze zdefiniowanym w literaturze **wzorcem predysponującym do uszkodzenia WKP** w największym stopniu pokrywa się wzorzec **empiryczny kończyny zdrowej**, co stoi w pewnej opozycji do danych obecnych w literaturze.

6. Do zdefiniowanych w literaturze teoretycznych wzorców kinematycznych kończyny dolnej można dołączyć dodatkowe elementy związane z przemieszczeniami kości miednicznych. We **wzorcu predysponującym** do uszkodzenia WKP będą to: mniejszy zakres przodopochylenia kości miednicznej, większy zakres jej przemieszczenia w kierunku pochylenia bocznego oraz rotacji zewnętrznej. We **wzorcu zabezpieczającym** – przeciwne przemieszczenia.

6. Bibliografia

1. Alenezi F, Herrington L, Jones P, Jones R (2014) The reliability of biomechanical variables collected during single leg squat and landing tasks. *J Electromyogr Kinesiol* 24 (5):718–721. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.07.007
2. Alenezi F, Herrington L, Jones P, Jones R (2016) How reliable are lower limb biomechanical variables during running and cutting tasks. *J Electromyogr Kinesiol* 30:137–142. doi: 10.1016/j.jelekin.2016.07.001
3. Arden CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA (2011) Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: A systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 45:596–606. doi: 10.1136/bjsm.2010.076364
4. Bere T, Florenes TW, Krosshaug T, Koga H, Nordsletten L, Irving C, Muller E, Reid RC, Senner V, Bahr R (2011) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Am J Sport Med* 39:1421–1429. doi: 10.1177/0363546511405147
5. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE (2010) Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg* 18:1–8. doi: 10.5435/00124635-201009000-00003
6. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE (2009) Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med* 37:252–259. doi: 10.1177/0363546508328107
7. Carlson VR, Sheehan FT, Boden BP (2016) Video analysis of anterior cruciate ligament (ACL) injuries: A systematic review. *JBJS Rev* 4:e5. doi: 10.2106/JBJS.RVW.15.00116
8. Cesar GM, Tomasevicz CL, Burnfield JM (2016) Frontal plane comparison between drop jump and vertical jump: implications for the assessment of ACL risk of injury. *Sport Biomech* 15:440–449. doi: 10.1080/14763141.2016.1174286
9. Chappell JD, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE (2002) A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *Am J Sports Med* 30:261–267. doi: 10.1177/03635465020300021901
10. Christensen JC, Wilson CR, Merryweather AS, Foreman KB (2017) Kinematics of the Pelvis, Torso, and Lower Limb During Obstacle Negotiation While Under Temporal Constraints. *Anat Rec* 300:732–738. doi: 10.1002/ar.23554

11. Christensen L, Veierød MB, Vøllestad NK, Jakobsen VE, Stuge B, Cabri J, Stendal H (2019) Clinical Biomechanics Kinematic and spatiotemporal gait characteristics in pregnant women with pelvic girdle pain , asymptomatic pregnant and non-pregnant women. *Clin Biomech* 68:45–52. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2019.05.030
12. DiCesare CA, Bates NA, Barber Foss KD, Thomas SM, Wordeman SC, Sugimoto D, Roewer BD, Medina McKeon JM, Di Stasi S, Noehren BW, Ford KR, Kiefer AW, Hewett TE, Myer GD (2015) Reliability of 3-Dimensional measures of single-leg cross drop landing across 3 different institutions: Implications for multicenter biomechanical and epidemiological research on ACL injury prevention. *Orthop J Sport Med* 3:1–9. doi: 10.1177/2325967115617905
13. Ford KR, Myer GD, Hewett TE (2007) Reliability of landing 3D motion analysis: Implications for longitudinal analyses. *Med Sci Sports Exerc* 39:2021–2028. doi: 10.1249/mss.0b013e318149332d
14. Graci V, Van Dillen LR, Salsich GB (2012) Gender differences in trunk, pelvis and lower limb kinematics during a single leg squat. *Gait Posture* 36:461–466. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.04.006
15. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, Garrick JG, Hewett TE, Huston L, Ireland ML, Johnson RJ, Kibler WB, Lephart S, Lewis JL, Lindenfeld TN, Mandelbaum BR, Marchak P, Teitz CC, Wojtys EM (2000) Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg* 8:141–150. doi: 10.5435/00124635-200005000-00001
16. Gwynne CR, Curran SA (2014) Quantifying frontal plane knee motion during single limb squats: reliability and validity of 2-dimensional measures. *Int J Sports Phys Ther* 9:898–906
17. Herrington L, Alenezi F, Alzhrani M, Alrayani H, Jones R (2017) The reliability and criterion validity of 2D video assessment of single leg squat and hop landing. *J Electromyogr Kinesiol* 34:80–85. doi: 10.1016/j.jelekin.2017.04.004
18. Herrington L, Munro A (2010) Drop jump landing knee valgus angle; normative data in a physically active population. *Phys Ther Sport* 11:56–59. doi: 10.1016/j.ptsp.2009.11.004
19. Kobayashi H, Kanamura T, Koshida S, Miyashita K, Okado T, Shimizu T, Yokoe K (2010) Mechanisms of the anterior cruciate ligament injury in sports activities: A twenty-year clinical research of 1,700 athletes. *J Sport Sci Med* 9:669–675

20. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T (2010) Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 38:2218–2225. doi: 10.1177/0363546510373570
21. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, Hewett TE, Bahr R (2007) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: Video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med* 35:359–367. doi: 10.1177/0363546506293899
22. Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C (2021) Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *Int J Environ Res Public Health* 18:1–13. doi: 10.3390/ijerph18073826
23. Laughlin WA, Weinhandl JT, Kernozek TW, Cobb SC, Keenan KG, O'Connor KM (2011) The effects of single-leg landing technique on ACL loading. *J Biomech* 44:1845–1851. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.04.010
24. McLean SG, Walker K, Ford KR, Myer GD, Hewett TE, Van Den Bogert AJ (2005) Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med* 39:355–362. doi: 10.1136/bjism.2005.018598
25. McNitt-Gray JL (1993) Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *J Biomech* 26:1037–1046. doi: 10.1016/s0021-9290(05)80003-x
26. Munro A, Herrington L, Carolan M (2012) Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. *J Sport Rehabil* 21:7–11. doi: 10.1123/jsr.21.1.7
27. Munro A, Herrington L, Comfort P (2012) Comparison of landing knee valgus angle between female basketball and football athletes: Possible implications for anterior cruciate ligament and patellofemoral joint injury rates. *Phys Ther Sport* 13:259–264. doi: 10.1016/j.ptsp.2012.01.005
28. Munro A, Herrington L, Comfort P (2017) The relationship between 2-dimensional knee-valgus angles during single-leg squat, single-leg-land and drop-jump screening tests. *J Sport Rehabil* 26:72–77. doi: 10.1123/jsr.2015-0102
29. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R (2004) Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis. *Am J Sports Med* 32:1002–1012. doi: 10.1177/0363546503261724

30. Pappas E, Hagins M, Sheikhzadeh A, Nordin M, Rose D (2007) Biomechanical differences between unilateral and bilateral landings from a jump: gender differences. *Clin J Sport Med* 17:263–268. doi: 10.1097/JSM.0b013e31811f415b
31. Paterno M V, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE (2014) Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sport Med* 42:1567–1573. doi: 10.1177/0363546514530088
32. Patrek MF, Kernozek TW, Willson JD, Wright GA, Doberstein ST (2011) Hip-abductor fatigue and single-leg landing mechanics in women athletes. *J Athl Train* 46:31–42. doi: 10.4085/1062-6050-46.1.31
33. Paz GA, de Freitas Maia M, Santana HG, Miranda H, Lima V, Willson JD (2019) Knee frontal plane projection angle: A comparison study between drop vertical jump and step-down tests with young volleyball athletes. *J Sport Rehabil* 28:153–158. doi: 10.1123/jsr.2017-0204
34. Paz GA, Maia M de F, Farias D, Santana H, Miranda H, Lima V, Herrington L (2016) Kinematic Analysis of Knee Valgus During Drop Vertical Jump and Forward Step-Up in Young Basketball Players. *Int J Sports Phys Ther* 11:212–9
35. Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J (2007) A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: A controlled, prospective trial. *Am J Sports Med* 35:564–574. doi: 10.1177/0363546506296042
36. Portney LG, Watkins MP (2020) *Foundations of Clinical Research Applications to Practice*. F.A. Davis Company, Philadelphia. s. 115–126
37. Prieske O, Muehlbauer T, Krueger T, Kibele A, Behm D, Granacher U (2015) Sex-specific effects of surface instability on drop jump and landing biomechanics. *Int J Sports Med* 36:75–81. doi: 10.1055/s-0034-1384549
38. Sandamas P, Gutierrez-Farewik EM, Arndt A (2020) The relationships between pelvic range of motion, step width and performance during an athletic sprint start. *J Sports Sci* 38:2200–2207. doi: 10.1080/02640414.2020.1776914
39. Srinivasan D, Tengman E, Häger CK (2018) Increased movement variability in one-leg hops about 20 years after treatment of anterior cruciate ligament injury. *Clin Biomech* 53:37–45. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.02.003
40. Szlachta G, Gnat R, Biały M (2021) Reliability of 3D measurement of pelvic and lower limb kinematics during two single leg landing tasks. *Biomed Hum Kinet* 13:73–80. doi: 10.2478/bhk-2021-0010

41. Webster KE, Feller JA, Leigh WB, Richmond AK (2014) Younger patients are at increased risk for graft rupture and contralateral injury after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 42:641–647. doi: 10.1177/0363546513517540
42. Wilczyński B, Zorena K, Ślęzak D (2020) Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks. Potentially modifiable factors and exercise training options. A literature review. *Int J Environ Res Public Health* 17:1–17. doi: 10.3390/ijerph17218208
43. Wu G, Cavanagh PR (1995) ISB Recommendations in the Reporting for Standardization of Kinematic Data. *J Biomech* 28:1257–1261. doi: 10.1016/0021-9290(95)00017-C
44. Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, Whittle M, D’Lima DD, Cristofolini L, Witte H, Schmid O, Stokes I (2002) ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *J Biomech* 35:543–548. doi: 10.1016/S0021-9290(01)00222-6
45. Żuk M, Trzeciak M (2016) Anatomical protocol for gait analysis: joint kinematics measurement and its repeatability. *J Theor Appl Mech* 55:369–376. doi: 10.15632/jtam-pl.55.1.369

7. Aneks 1

Protokół fizjoterapii pacjenta kliniki chirurgii endoskopowej po przeprowadzonym zabiegu rekonstrukcji WKP.

Etap rehabilitacji	Cele usprawniania
Etap I bezpośredni okres pooperacyjny (do 2 tygodni od zabiegu)	<ul style="list-style-type: none">• Stworzenie optymalnych warunków do gojenia się zrekonstruowanych struktur• Względne unieruchomienie i ograniczenie aktywności• Utrzymanie pełnego wyprost w stawie kolanowym• Zablockowanie ortezy w pełnym wyproście na noc• Stosowanie kul łokciowych (obciążanie ciężarem ciała do granicy tolerancji pacjenta)• Zmniejszenie dolegliwości bólowych i obrzęku• Wspomaganie pompy mięśniowej (zgięcie/wyprost stawu skokowego)• Elewacja kończyny• Krioterapia• Stopniowe zwiększanie zakresu ruchu zgięcia• CPM - jeśli jest możliwość• Poprawa aktywności mięśni odpowiedzialnych za dynamiczną stabilność stawu kolanowego• Unoszenie wyprostowanej kończyny dolnej• Wzmacnianie mięśnia czworogłowego uda (nauka kokontrakcji)• Stopniowe obciążanie operowanej kończyny• Miniprzysiady w zakresie wolnym od dolegliwości bólowych/dyskomfortu• Edukacja pacjenta• Ustalenie celów krótko i długoterminowych• Książeczka z ćwiczeniami do domu
Etap II wczesna faza rehabilitacji (2 - 4 tygodni od zabiegu)	<ul style="list-style-type: none">• Utrzymanie pełnego biernego zakresu ruchu wyprost w stawie kolanowego• Stopniowe odstawienie ortezy i kul (około 4 tygodnie od zabiegu)• Autostretching mięśni tylnej grupy uda• Odtworzenie prawidłowego ślizgu rzepkowo-udowego• Mobilizacje rzepki• Taping sztywny – korekcja ustawienia rzepki• Stopniowe zwiększanie biernego zakresu ruchu stawu kolanowego > 90 zgięcia• Praca na tkankach miękkich/bliznach• Rower stacjonarny• Ćwiczenia mięśni kończyny dolnej, trening czucia głębokiego• Wzmacnianie mięśnia czworogłowego uda, mięśni kulszowo-goleniowych (półprzysiady, w wypadzie w przód/bok)• Nauka chodu/bieżnia• Ćwiczenia mięśni kończyny dolnej/trening czucia głębokiego• Ćwiczenia w zamkniętym łańcuchu kinematycznym• Wzmacnianie kończyny nieoperowanej

	<ul style="list-style-type: none"> • Nauka poczucia prawidłowej pozycji kończyny dolnej i poczucia pozycji w stawie kolanowym • Ćwiczenia na niestabilnym podłożu (poduszki sensomotoryczne, platformy równoważne, platforma Biodex, Redcord) • Steper • Zapobieganie obrzękom wtórnym • Krioterapia, elewacja, kompresja, kinesiotaping
Etap III kontrolowana rehabilitacja (4 - 13 tygodni od zabiegu)	<ul style="list-style-type: none"> • Odtworzenie pełnego zakresu ruchu stawu kolanowego (0° - 125°) • Poprawa parametrów siłowych kończyny dolnej • Odtworzenie propriocepcji, równowagi i kontroli nerwowo-mięśniowej • Odtworzenie funkcji kończyny dolnej, podniesienie poziomu pewności pacjenta • Progresja ćwiczeń izometrycznych mięśnia czworogłowego uda • Ćwiczenia mięśni kulszowo-goleniowych • Ćwiczenia stawu biodrowego • Chód z przeszkodami, schody • Przysiady - progresja • Przysiady w wykroku • Basen (blizny) • Ćwiczenia równoważne • Rowerek • Badanie funkcjonalne
Etap IV przygotowanie do aktywności fizycznej (13 - 22 tygodni od zabiegu)	<ul style="list-style-type: none"> • Wprowadzenie programu rehabilitacji/treningu w oparciu o wyniki badania funkcjonalnego • Pełny powrót do aktywności fizycznej/sportowej • Maksymalizacja możliwości siłowych kończyny operowanej • Optymalizacja poziomu kontroli nerwowo-mięśniowej w porównaniu do kończyny nieoperowanej • Progresja ćwiczeń siłowych dla kończyny operowanej • Progresja ćwiczeń kontroli nerwowo-mięśniowej • Bieganie • Ćwiczenia specyficzne dla danej dyscypliny/aktywności fizycznej
Etap V powrót do pełnej aktywności fizycznej (po 22 tygodniach od zabiegu)	<ul style="list-style-type: none"> • Badanie funkcjonalne (6 miesiąc od zabiegu) • Badanie funkcjonalne (12 miesiąc od zabiegu)